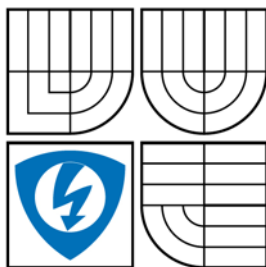


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VZDÁLENÉ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY A JEJICH PRAKTICKÉ VYUŽITÍ

REMOTE MEASURING SYSTEMS AND ITS UTILIZATION IN PRACTISE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ZDENĚK KUKLA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

BRNO 2008

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Kukla Zdeněk, Bc.
Ročník: 2

ID: 89637
Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Vzdálené měřicí systémy a jejich praktické využití

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- obecné požadavky na autonomní měřicí systém,
- komunikační prostředky a datové toky při online měření,
- možnosti archivace dat a jejich postprocesingové zpracování,
- využití dálkového měření v energetice a současný stav technologie v praxi. systému pro malé elektrárny v rozptýlené výrobě,


DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 17.12.2007

Termín odevzdání: 28.5.2008

Vedoucí projektu: Ing. Petr Baxant, Ph.D.



doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Zdeněk Kukla
Bytem: Temenická 2577/9, 787 01, Šumperk
Narozen/a (datum a místo): 29.12.1981, Šumperk

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☒ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Vzdálené měřicí systémy a jejich praktické využití
Vedoucí/ školitel Ing. Petr Baxant, Ph.D.
VŠKP:
Ústav: Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby
VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v * :

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Bibliografická citace práce:

KUKLA, Z. *Vzdálené měřicí systémy a jejich praktické využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce
**Vzdálené měřicí systémy
a jejich praktické využití**

Bc. Zdeněk Kukla

**Vedoucí: Ing. Petr Baxant, Ph.D.
Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008**

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

Remote measuring systems and its utilization in practise

by

Bc. Zdeněk Kukla

**Supervisor: Ing. Petr Baxant, Ph.D.
Brno University of Technology, 2008**

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vzdálenými měřicími systémy a jejich praktickým využitím v energetice. V první části jsou popsány požadavky na autonomní měřicí systém a popis systémů AMM, AMR. Dále jsou zde popsány komunikační a datové toky při *on-line* měření, pracující na přesně vymezených komunikačních vrstvách. Pozornost je věnována možnostem zpracování dat pomocí postprocesingu a funkcím přístrojů, které tyto atributy nabízí.

V další části jsou popsány důvody proč využívat vzdálené měřicí systémy v energetice a hlavní výhody sdružení přístrojů do jednoho celku. Po zjištění potřebných parametrů a funkcí systémů je podrobně vytvořen návrh koncového měřicího přístroje. Tento návrh řeší měřicí část s A/D převodníkem, zpracování v mikroprocesoru, měřicí a vyhodnocovací algoritmy a vlastnosti komunikace použitých sběrnic.

Poslední část je věnována využití dálkové analýzy v malých elektrárnách v rozptýlené výrobě. Je zde popsán vznik deformace napětí, harmonická analýza signálu a možnosti její aplikace při zpracování dat. Popsaná analýza byla odzkoušena na datech získaných z kogenerační jednotky.

KLÍČOVÁ SLOVA: smart metr, digitalizace signálu, datová měřicí infrastruktura, systém automatického odečtu, frekvence vzorkování, harmonická analýza, frekvenční analýza, reálný čas, přenos dat po distribučním vedení, místní síť

ABSTRACT

This master's thesis is dealing with remote measuring systems and their utilization in power engineering. In the first part there are described requirements on an autonomous measuring system and description of AMM and AMR systems. Communicating and data flows working on accurately defined communicating layers are also depicted in this part. The attention is devoted to the possibility of data processing and functions of devices offered by these attributes.

In the following part there are described reasons for utilization of remote measuring systems in power engineering and the main advantages of connection of more devices into one unit. After finding of required parameters and functions of systems, a suggestion of terminal device is created in the same way. The suggestion is described in the measuring part with A/D converter, processing in microprocessor, measuring and evaluating algorithms and attributes of communication of bus used.

The last part is devoted to utilization of remote analysis in small power stations in dispersed production. Formation of deformation of voltage, harmonic analysis of signal and its application for data processing are described there. Described analysis was tested on data acquired from a cogeneration unit.

KEY WORDS:

smart meter, digitizing signal, data metering infrastructure, automatic meter reading, frequency sampling, harmonic analysis, frequency analysis, real time, power-line communication, local area network

OBSAH

OBSAH.....	10
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	14
1 ÚVOD.....	16
2 POŽADAVKY NA AUTONOMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉM.....	17
2.1 OPERATIVNOST SYSTÉMU.....	17
2.2 POŽADAVKY NA FUNKCE AMR SYSTÉMU	19
2.3 HLAVNÍ „DRIVERY“ VÝVOJE SMĚREM K SMART METERINGU	20
3 KOMUNIKAČNÍ A DATOVÉ TOKY PŘI ONLINE MĚŘENÍ.....	21
3.1 ZÁKLADNÍ KOMUNIKAČNÍ VRSTVY.....	21
3.1.1 VRSTVA INTELIGENTNÍCH METRŮ	21
3.1.2 KOMUNIKAČNÍ VRSTVA	22
3.1.3 CHYTRÁ MĚŘICÍ SW VRSTVA	22
3.2 DATOVÁ KOMUNIKACE.....	22
3.2.1 ONLINE MĚŘENÍ POMOCÍ ANALYZÁTORŮ	23
3.3 HRANICE PRO IMPLEMENTACI ZAŘÍZENÍ.....	25
4 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A ARCHIVACE DAT.....	27
4.1 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	27
4.2 POSTPROCESINGOVÉ ZPRACOVÁNÍ	30
4.3 VÝKONOVÝ SÍŤOVÝ ANALYZÁTOR.....	31
4.3.1 KONSTRUKCE ANALYZÁTORU ENA500 [16].....	32
4.3.2 VZOREK (SAMPL) EFEKTIVNÍCH HODNOT NA ANALYZÁTORU:	32
4.3.3 ANALYZÁTOR HARMONICKÝCH A MEZIHARMONICKÝCH.....	33
5 VYUŽITÍ DÁLKOVÉHO MĚŘENÍ V ENERGETICE.....	34
5.1 SYSTÉM BK ELCOM.....	35
5.2 SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE V PRAXI.....	37
6 NÁVRH KONCOVÉHO MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE.....	39
6.1 NÁVRH MĚŘICÍ ČÁSTI KONCOVÉHO PŘÍSTROJE	39
6.1.1 FILTR A PŘEVODNÍK	40
6.1.2 ŘEZOVÉ VZORKOVÁNÍ	41
6.2 ZPRACOVÁNÍ V MIKROPROCESORU	42
6.3 POPIS FUNKCÍ NÁVRHU	43
6.3.1 MĚŘENÍ NAPĚTÍ.....	43
6.3.2 MĚŘENÍ PROUDU.....	43
6.3.3 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ PRÁCE.....	43
6.3.4 VYHODNOCENÍ FÁZOVÝCH VÝKONŮ	44
6.3.5 VYHODNOCENÍ TROJFÁZOVÝCH VÝKONŮ	44
6.3.6 VYHODNOCENÍ ÚČINÍKU	45
6.3.7 VYHODNOCENÍ HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ (THD) A VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH SLOŽEK	46
6.3.8 VYHODNOCENÍ ¼ HODINOVÝCH MAXIM PRŮMĚRNÝCH ČINNÝCH VÝKONŮ	46
6.3.9 VYHODNOCENÍ DIAGRAMŮ ZATÍŽENÍ	47

6.4 MĚŘÍCÍ A VYHODNOCOVACÍ ALGORITMY	47
6.4.1 MĚŘÍCÍ ALGORITMUS	47
6.4.2 VYHODNOCOVACÍ ALGORITMUS	48
6.5 VLASTNOSTI KOMUNIKACE POUŽITÝCH SBĚRNIC	50
6.5.1 METALICKÉ PŘIPOJENÍ	50
6.5.2 NOVÉ MOŽNOSTI PLC PŘIPOJENÍ	51
6.5.3 BEZDRÁTOVÉ PŘIPOJENÍ	51
6.6 CELKOVÝ NÁVRH KONCOVÉHO MĚŘÍCÍHO PŘÍSTROJE	52
6.6.1 OBVODY ŘADY 71M65XX.....	53
7 MĚŘÍCÍ SYSTÉMY PRO MALÉ ELEKTRÁRNY VE VÝROBĚ	54
7.1 DEFORMACE NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ	54
7.2 HARMONICKÁ ANALÝZA.....	55
7.3 MĚŘENÍ NA KOGENERAČNÍ JEDNOTCE.....	56
8 ZÁVĚR	62
9 POUŽITÁ LITERATURA	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Primární okruh.....	18
Obr. 2.2 Sekundární okruh [2].....	19
Obr. 2.3 Vývoj k „smart metring“ [5].....	20
Obr. 3.1 Bezdrátový přenos [13].....	22
Obr. 3.2 Bloková struktura distribuovaného systému monitoringu BK ELCOM [15].....	23
Obr. 3.3 První harmonická [16]	24
Obr. 3.4 Panel osciloskopu [16]	25
Obr. 4.1 BK ELCOM a jeho grafické rozhraní [15]	27
Obr. 4.2 Časové průběhy měřených veličin v analyzátoru BK ELCOM [15]	28
Obr. 4.3 Protokol časového průběhu měřené veličiny v analyzátoru BK ELCOM [15]	29
Obr. 4.4 Histogram za časový úsek [16]	30
Obr. 4.5 Panel monitoru výkonů a energií - volba minimální hodnoty [16]	31
Obr. 4.6 Softwarové moduly [16]	32
Obr. 4.7 Panel analyzátoru harmonických a mezipharmonických [16]	33
Obr. 5.1 Vizualizační rozhraní pro dálkovou správu analyzátoru BK ELCOM [15]	34
Obr. 5.2 PNA 600 vlevo [16],	36
Obr. 5.3 ENA 500 vpravo [16].....	36
Obr. 5.4 ENA 440 vlevo [16]	36
Obr. 5.5 ENA 400 vpravo [16].....	36
Obr. 6.1 Zapojení děliče napětí.....	39
Obr. 6.2 Zapojení Rogowského cívky.....	39
Obr. 6.3 Blokový návrh měřící části.....	40
Obr. 6.4 Vzorkování dle maxima napětí [24].....	41
Obr. 6.5 Identifikace odběru-dodávky a charakteru jalového proudu podle fáz. posuvu [24]	46
Obr. 6.6 Měřící algoritmus.....	47
Obr. 6.7 Vyhodnocovací (řídící) algoritmus	49
Obr. 6.8 Ukázka připojení a komunikace [25].....	50
Obr. 6.9 Blokový návrh celého koncového přístroje	53
Obr. 6.10 Obvody pro měření elektrické spotřeby [30]	53
Obr. 7.1 Projevy rušivých signálů v napájecím napětí [31]	54
Obr. 7.2 Deformace síťového napětí vlivem spínacích pochodů výkonových polovodičů [31]	55
Obr. 7.3 Ukázka změřených dat na kogenerační jednotce	57
Obr. 7.4 Deformované třífázové průběhy z kogenerační jednotky.....	57
Obr. 7.5 Proložení harmonického signálu funkcí sinus	58
Obr. 7.6 Časový průběh rozdílu naměřeného a teoretického napětíového signálu	58
Obr. 7.7 Spektrum měřeného signálu a funkce sinus ve frekvenční oblasti	59
Obr. 7.8 Detail spektra měřeného signálu a funkce sinus ve frekvenční oblasti	60
Obr. 7.9 Rekonstruovaný rušivý průběh signálu	61
Obr. 7.10 Průběh funkce sinus a přičtení zkreslujícího signálu	61

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 4-1 Monitorované hodnoty [16]</i>	32
<i>Tab. 6-1 Porovnání RF standardů pro přenos [27]</i>	52

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	(Alternating Current), střídavý proud
A/D	Analogově digitální převodník
AMM	(Automatic Meter Management), automatizovaný systém pro měření a řízení dodávek
AMR	(Automatic Meter Reading), systém pro dálkové odpočty
ASCII	Dohodnutá skupina znaků
CAN-BUS	(Controller Area Network), sériová datová sběrnice pro automobilový průmysl
ČSN	Česká statní norma
DFT	(Discrete-time Fourier Transformation), diskrétní Fourierova transformace
Dial-up	Vytáčené připojení k internetu
DLC	(Distribution Line Carrier), systém pro přenos dat namodulováním na nosnou frekvenci
DP	Dolnoproustný filtr
EMC	(Electromagnetic Compatibility), Elektromagnetická kompatibilita
EMI	(Electromagnetic Interference), elektromagnetické rušení
EEPROM	Elektricky mazatelná semipermanentní paměť typu ROM-RAM
ES	Elektrizační soustava
Ethernet	Lokální síť, která realizuje vrstvu síťového rozhraní
FFT	Rychlá Fourierova transformace
GSM	(Global System for Mobile Communications), globální systém pro mobilní komunikaci
GPRS	(General Packet Radio Service), mobilní datová služba přístupná pro uživatele GSM
GPS	(Global Positioning System), navigační družicový systém
HDO	Hromadné Dálkové Ovládání
HMI	(Human Machine Interface), Příjemné prostředí pro uživatele
HW	(Hardware), fyzicky existující technické vybavení počítače
IrDA	(Infrared Data Association), přenos dat na krátkou vzdálenost prostřednictvím infračerveného záření
IS	Informační Systémy
LCD	(Liquid crystal display), displej
LAN	(Local Area Network), lokální síť, místní malá síť
MAN	(Metropolitan Area Network), metropolitní síť
M-Bus	(Meter- Bus), nové standardizované rozhraní pro dálkové odečty měřidel spotřeby
MM	Měřicí Místo

MS SQL	Databázový server od firmy Microsoft
MUX	Multiplexer
nn	nízké napětí
PCC	Napájecí bod v ES soustavě
PDA	(Personal Digital Assistant), malý kapesní počítač.
PFC	(Power Factor Correction), regulce či korekce účinníku
PQDIF	(Power Quality Data Interchange Format), formát exportovaných dat
PLC	(Power Line Communication), sada protokolů, přenos dat namodulováním na nosnou frekvenci, určeno pro přenos po silovém vedení
RF	Rádiová Frekvence
SoC	(System on Chip), systém v jednom čipu
RAM	(Random-access memory), paměť s libovolným (náhodným) přístupem
RS-232	Sériové rozhraní COM
RS-485	Průmyslové sériové rozhraní
RTC	(Real Time Clock), obvod reálného času
RMS	Uvažovaná efektivní hodnota sledovaného signálu
SCADA	(Supervisory Control And Data Acquisition), systém umožňující dispečerské řízení a sběr dat
SQL	(Structured Query Language), sestavuje požadavky pro přehlednost a rychlost operací
SMS	Krátká textová zpráva
SM	(Smart Meter), inteligentní měřicí přístroj
SoC	(System on Chip), integrovaný systém v jedné součástce
SW	(Software), programové vybavení počítače
TCP/IP	Sada pravidel nebo protokolů v síti Internet
THD	(Total harmonic distortion), celkové harmonické zkreslení
TRMS	(True Root Mean Square), skutečná efektivní hodnota
uC	Mikroprocesor
UTILIS	Společnost služeb distribuující různá média jako třeba elektřina
UPS	(Uninterable Power Source), nepřerušitelný zdroj napájení
vn	Vysoké napětí
vf	Vysoká frekvence
vvn	Velmi vysoké napětí
WAN	(Wide Area Network), rozsáhlá počítačová síť
WiFi	Standard pro lokální bezdrátové sítě vychází ze specifikace [32]
ZigBee	Nízkorychlostní standard bezdrátové komunikace

1 ÚVOD

Rozvoj nových technologií a jejich stále větší využívání ve společnosti má za následek zvyšování spotřeby elektrické energie. Vzdálené měřicí systémy znamenají pro energetiku nový způsob monitorování současného stavu toku energie v ES. Zvyšující se požadavky na dálkové odečty a kvalitu dodávky vedou dodavatele na možnost implementace nových digitálních přístrojů. Přístroje s příslušným rozhraním pro obousměrnou komunikaci umožňují dálkovou správu, což je základním kritériem pro jejich zavádění do autonomního měřicího systému. Spojením více autonomních systémů získáme centralizovaný distribuovaný systém, který se navenek jeví jako jednotný integrovaný systém.

Pomocí dobře pracujícího systému můžeme monitorovat zatěžování sítě a toky kvalitní nebo nekvalitní elektrické energie. Takto získáme stavový obraz, který můžeme dále využít pro statistické, finanční nebo ekonomické zhodnocení. Okamžitý obraz je pro nás zpětnou vazbou, podle které můžeme natavit cenový tarif nebo zavádět různá korekční opatření.

Měřicí systémy mohou být použity v různých částech ES, jako například v elektrárnách, rozvodnách, průmyslových zónách, městských aglomeracích a hlavně běžných domácnostech. Měřicí systém představuje souhrn měřících a vyhodnocujících přístrojů s vlastní inteligencí, které pracují ve zvolené komunikační síti. Cílem přístrojů v této síti je podávat informace, které se musí dále zpracovat, vyhodnotit a uložit v předem stanoveném formátu, aby se nestaly bezcennými. Celková naměřená data mohou mít explicitní nebo implicitní význam.

Při *on-line* měření musíme získávat reálné informace, které mají minimálně aktuální hodnotu, čas a místo. Dále informace operačně, takticky nebo strategicky použijeme.

Získané údaje může velice ocenit i spotřebitel pro kontrolu rozpočtu, plánování investic a okamžitou reakci na rostoucí ceny energií. Znamená to, že může nejen disponovat informací, kolik odebíraná energie stojí, ale třeba i informací, jaký dopad má jeho spotřeba na výrobu skleníkových plynů.

Získaná měření mají také nemalý přínos pro dodavatele energie, který má okamžitě celkový pohled na spotřebu a kvalitu elektrické energie ve sledované rozvodně, průmyslové zóně, městské aglomeraci nebo třeba celém regionu.

Podle lokální náročnosti systém dělíme na více podsystémů, ze kterých získáváme elementární informaci. Informace může být zobrazena online a po uložení ji můžeme postprocesingově zpracovat a porovnávat s předchozími obdobími.

Dnešní doba si žádá vyměnit koncová analogová a morálně zastaralá konvenční měřidla (napětí, proudu, výkonu atd.) za nová digitální, která by umožnila automatizovaný sběr a zpracování dat v reálném čase jako třeba tzv. „smart meter“. Termín „smart metering“ je typický pro „smart metry“, které by mohly být nainstalovány v síti a tak umožnit celkový okamžitý scan sítě v reálném čase.

S pomocí požadavků na vzdálený měřicí systém může být navržen vlastní koncový přístroj. Pro inspiraci nám poslouží přístroje od firem TRANSTECH a.s., Landis+Gyr s.r.o., SITRONICS, EGU, Siemens, ZPA, AIS, ELCOM a mnoho dalších.

2 POŽADAVKY NA AUTONOMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉM

Hlavní požadavky na autonomní měřicí systém plynou z řešení zásadních obchodních a technických problémů, se kterými se moderní energetické společnosti potýkají dnes a denně. Problémy plynou z globálního rostoucího požadavku na energii a kvalitu dodávky. Jejich řešení vede k systémům AMM, AMR, které mohou lépe sledovat změny měřených veličin a rušivé vlivy na kvalitu EMC. Dále můžeme také zamezit plýtvání energiemi pomocí monitorování spotřeby v celém autonomním systému.

Zvolený návrh na rozmístění zařízení v celé síti a systému obecně musí:

- Umožnit pravidelné dálkové měření a odečty na jednotlivých metrech MM plánovaně, ale i on-line na žádost měřicí společnosti (centra).
- Zlepšit komunikaci mezi dodavatelem a zákazníkem pomocí dálkového displeje v MM.
- Umožnit sledovat on-line, ale i postprocesingově kvalitu dodávky elektrické energie.
- Poskytnout dodavateli detekci netechnických ztrát, ale i krádeže elektrické energie.
- Zlepšit kontrolu nad tržbami pro měsíční fakturování po spotřebě.
- Umožnit více odečtů ve stejném okamžiku a tím zrychlit tok vlastní informace.
- Umožnit efektivní měření a monitorování v MM. (Jedná se převážně o byty a menší průmyslové odběratele elektřiny.)
- Být rychlé a zároveň jednoduché, s dostupnou informací o současném stavu měření.
- Měřit sledovanou úroveň bez přímého zásahu technika v MM a to i v případě výpadku použité komunikace.
- Analyzovat kvalitu elektrické energie.
- Umožnit spotřebiteli lepší informaci o kontrole nad užívanou energií (konzumními daty), vedoucí k finančním úsporám při změně tarifu.

Pro dosažení výše uvedených požadavků využíváme IS, které vyžadují automatickou dostupnost potřebných dat v digitalizované podobě. Použitá digitální podoba musí být u všech spolupracujících typů zařízení v systému v měřeném reálném čase jednotná. Pokud není jednotná musíme do systému implementovat další zařízení na synchronizaci času nebo pro převod na standardizovaný datový formát.

2.1 Operativnost systému

Systém nabízí správu měřidel a odběrných míst, vyhodnocuje kvalitu dodávky a ztráty při distribuci. Dále ho můžeme využít při lokalizaci poruch v síti nebo k poskytování informací o spotřebě odběrateli pomocí veřejné internetové sítě.

Při použití systémů bychom mohli vyloučit zastaralý ruční odečet. Distributor by disponoval aktuálními daty o skutečné spotřebě zákazníků, což by mu umožňovalo lépe sledovat provoz distribuční sítě. Výhodou je, že pomocí obousměrné komunikace získáme ihned informaci o nějakém pokusu manipulace s měřicími přístroji, jako například otevření krytu přístroje nebo provádění změn v jeho instalaci, které mají vliv na jeho funkci.

Řízením automatizovaného měření v reálném čase (UTILIS) bychom mohli nezávisle na prodejci řídit měření a sběr dat z různých typů měřících zařízení. Funkce je založena na zprostředkování měření pomocí zástrček, které představují AMM systémy. V AMM systémech využíváme modemy určené pro konkrétní specifické měření sítě pomocí modulů. Moduly využíváme pro konvergentní řízení sítě a inventář konvergentních zdrojů.

Architektura systému by se dala popsat jednoduchými okruhy, které by pracovaly provázaně s rychlou časovou odezvou. Klíčovým prvkem tohoto uvažovaného systému je měřicí společnost, která komunikuje s odběratelem a operátorem pro distribuci elektrické energie. Takto uvažovaná

měřicí společnost může podávat protokol nebo výstupní data ve standardizovaném formátu pro další zpracování.

Popis systému pomocí dvou okruhů:

- Primárního (pro vzdálené měření dat)
- Sekundárního (pro operace s daty)

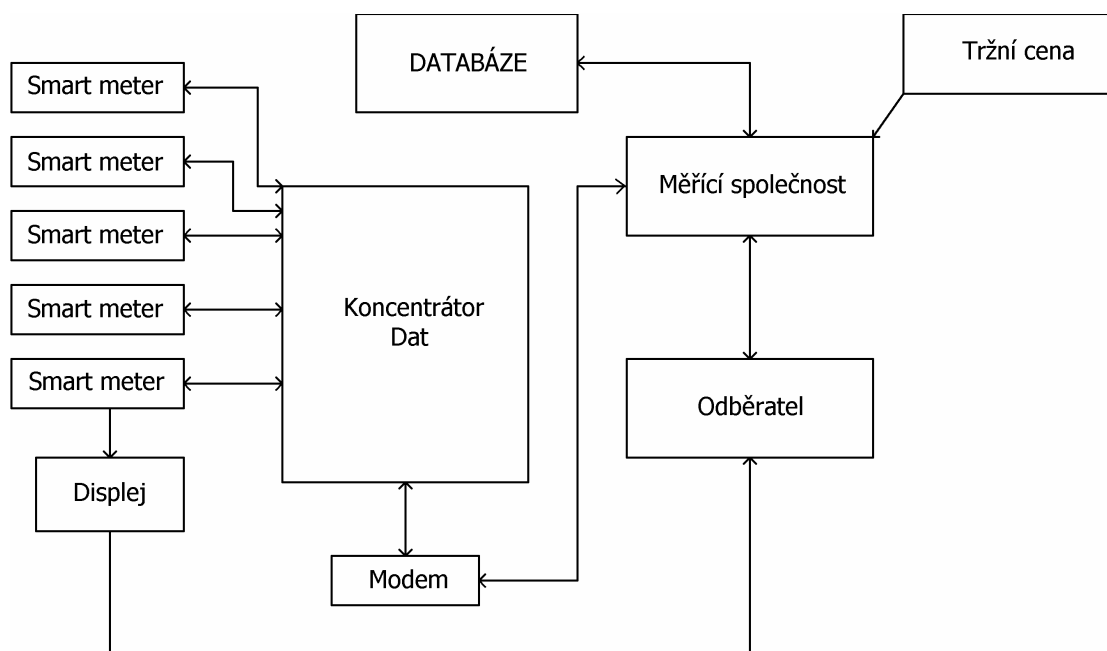
Základní kámen prvního okruhu měřicího systému je „smart metr“, který posílá informaci do koncentrátoru dat. „Smart metr“ měří nejen spotřebu elektrické energie, ale i mnoho dalších parametrů a úrovní v síti. Tento „inteligentní metr“ měří například okamžité hodnoty měřených veličin (proudu, účinníku, ...), ale také třeba výpadky či poklesy napětí. Jednou za 15 minut může změřit maxima výkonu nebo proudu [1]. Součástí těchto přístrojů je i zabezpečení celistvosti měření a ochrana MM před neoprávněnými zásahy. Toto bývá realizováno různými výpočty měřených hodnot a dalšími snímači, jako jsou například snímače magnetického pole či snímače otevření krytu svorkovnice nebo elektroměru [1].

Koncentrátory dat, jak je vidět na *obr. 2.1*, dokáží spravovat několik „smart metrů“, které shromažďují informace v nějaké městské lokalitě nebo průmyslové zóně. Odběratel může sledovat měřenou hodnotu přímo na displeji „smart metru“ nebo vzdáleně přes veřejnou síť od měřicí společnosti.

Koncentrátor dat posílá informaci do databázového serveru, ze kterého můžeme dále posproceingově informace zpracovávat. Měřicí společnost může sledovat jak hodnoty *off-line* z databázového serveru, tak hodnoty *on-line* přímo z koncentrátoru dat. Informace *on-line* získává měřicí společnost pomocí některého standardizovaného formátu a pomocí komunikačních vrstev, na kterých je systém provozován. Tomuto měření se říká „smart metring“.

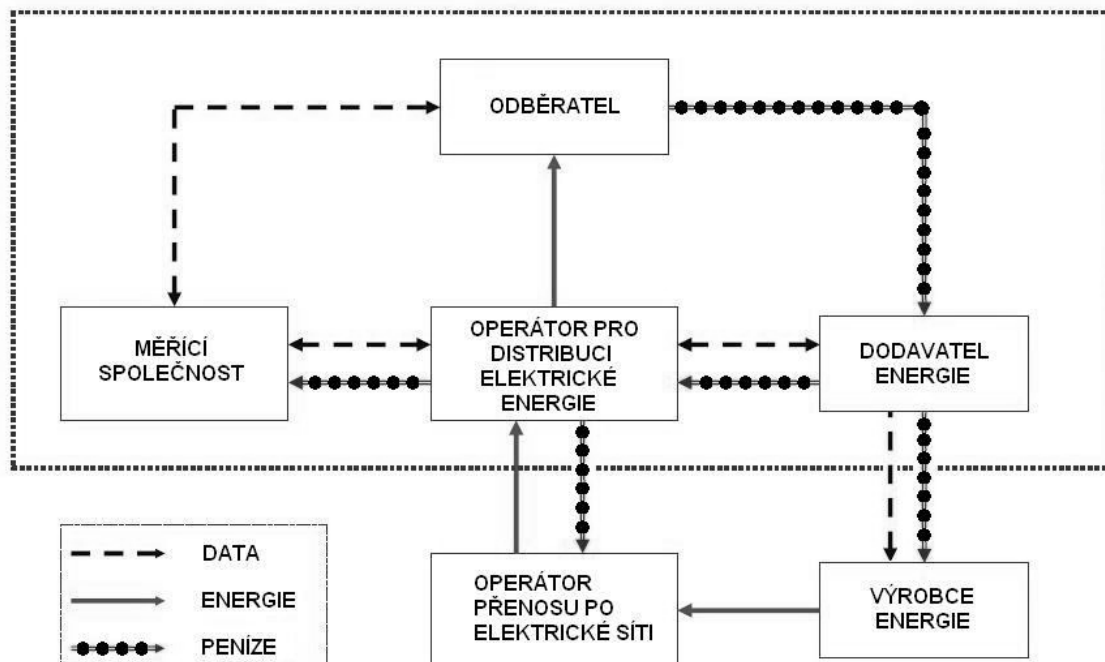
$$\text{Smart metring} = \text{Smart metr} + \text{Datová infrastruktura} + \text{Čas zpracování}$$

Použitý inteligentní modem je možné nastavit do režimu předplacené dodávky elektrické energie. Pomocí vstupů je pak schopen realizovat kontrolní postupy. Mezi kontrolní postupy může patřit například kontrola porušení plomby, cizí magnetická pole atd. Modem je ve spolupráci se „smart metrem“ schopen přesně sledovat kvalitu dodávané elektrické energie a zpětné ovlivnění soustavy ze strany zákazníka.



Obr. 2.1 Primární okruh

Sekundární okruh popisuje toky datové, energetické a finanční, které jsou zobrazeny v obr. 2.2. Podle jednotlivých datových toků dochází ve sledované síti ke změnám dodávky elektrické energie. Při používání primárního okruhu se rychlost těchto datových toků značně zvýší. Scanem celé sítě může operátor distribuce elektrické energie během několika sekund získat ucelenou informaci o sledované úrovni v síti. Takto získanou informaci posílá dodavateli energie, který zareaguje zvýšením nebo snížením výkonu v ES.



Obr. 2.2 Sekundární okruh [2]

2.2 Požadavky na funkce AMR systému

Při výběru AMR systému sledujeme vlastnosti, které potřebujeme pro naši zvolenou síť. Vysoké požadavky klademe na univerzálnost systému. Systém by měl podporovat libovolná měřidla co do druhu měřené veličiny i do jeho komunikačních možností (vrstvy fyzické a protokolární).

Nesmí nastat ztráta dostupnosti měřidel a velké redukce objemu přenesených dat. Nabízejí se dva druhy přenosu dat z měřidel [3]:

1. transparentní (pro případnou parametrizaci inteligentních měřidel firemním protokolem)
2. modifikované (modifikace = výběr dat pro přenos)

Výhodnější pro komunikaci měřidel s dispečinkem je vytvářet větší skupiny měřidel, které jsou připojeny k jednomu datovému koncentrátoru dat. Koncentrátor zajišťuje kromě společné komunikace s centrálou i unifikaci a lokální archivaci dat.

Jednotlivé části systému by měly být modulární, aby bylo možné optimalizovat jejich vybavení v závislosti na topologii sítě, počtu, typech měřidel a stupni jejich inteligence. Datový koncentrátor proto musí podporovat (směrem k měřidlům) všechna dostupná komunikační rozhraní najednou [3].

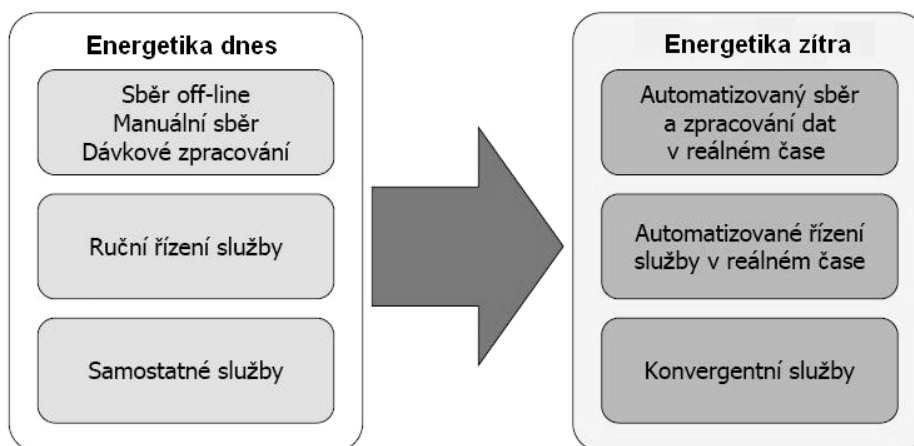
Od systému se očekává otevřenost pro implementaci nových měřidel a nových komunikačních protokolů nebo funkcí. Důležité je také respektování IS distributora a přizpůsobení komunikačních rozhraní AMR systému tak, aby bylo možné sdílení dat a nebylo nutné některé části IS nahrazovat novými.

Velmi významný požadavek při výběru AMR systému je také kladen na jednoduchost ve fázi implementace i v rámci údržby v běžném provozu. Distributoři musí jednoduše zvládnout instalaci nebo jejich výměnu, i když se počítá s dlouhodobou spolehlivostí.

2.3 Hlavní „drivery“ vývoje směrem k smart meteringu

O zavedení systémů dálkových odečtů měřidel spotřeby a kvality elektrických energií, neboli o nových AMR systémech se mluví již dlouho. Velký „boom“ zaznamenávají tyto systémy právě v posledních letech, protože dochází k poklesu cen a návratnost je přijatelná [4]. V elektroenergetice je navíc kladen velký tlak na efektivnost, což si žádá liberalizace trhu. Distributoři dnes musí hledat prostředky jak zvýšit efektivitu procesů, snížit náklady a zpřesnit informaci o ES.

Využitím AMR systému získáme velice silný marketingový nástroj, který pomocí flexibilních tarifů umožní vytvoření neomezeného počtu tarifních plánů. Plány jsou založeny na čase spotřeby, což umožňuje zákazníkům rozvrhnout si svou vlastní spotřebu elektrické energie s ohledem na tarifní periody. Zvýšením úrovně a větší péčí o zákazníka si poskytovatel UTILIS zlepšil svou konkurenceschopnost a později i zisky.



Obr. 2.3 Vývoj k „smart metring“ [5]

Dalším důvodem zavedení těchto systémů jsou smluvní vztahy distributora a odběratele elektřiny. Musí existovat nějaké limity kvality elektrické energie a kontrolní prvky v síti, které ji zaručí. Kontrolní prvky sítě tvoří systémy pro monitoring a analýzu rušivých elementů. V zásadě se jedná o soustavu standardů definujících projevy rušení, metody jejich měření a přípustné limity rušivých jevů. Přístroje tedy musí umožnit korektní a opakovatelné měření vybraných elektrických veličin a umožnit analýzu měřených dat s cílem průkazně rozhodnout, zda naměřené hodnoty jsou nebo nejsou v dovolených mezích, a zdokumentovat tuto skutečnost protokolem z měření. Můžeme například měřit časové průběhy napětí a proudů a následně je zpracovávat. Zpracování podle platných standardů měření rušivých vlivů :

- harmonické a meziharmonické (v souladu s normou [6])
- kolísání napětí – blikání (v souladu s normou [7])
- kvalitu elektřiny komplexně (v souladu s normou [8])

Při použití těchto prostředků můžeme kvalitně monitorovat a analyzovat rušivé vlivy na rozhraní dodávky a spotřeby elektrické sítě. Standardy v elektrické síti jsou jednotně dány harmonizací těchto ČSN norem a norem mezinárodních. Nedodržováním těchto norem dochází ke vzniku velkých problémů či škod.

Nástroje pro měření a následné vyhodnocení měřených dat jsou na trhu v široké škále provedení a harmonizace s normou nemusí být vždy zcela v pořádku.

3 KOMUNIKAČNÍ A DATOVÉ TOKY PŘI ONLINE MĚŘENÍ

Pro komunikaci mezi jednotlivými přístroji využíváme moduly, které umožňují jednosměrnou nebo obousměrnou komunikaci. V poslední době se stále více používají hybridní komunikace, které využívají různých komunikačních médií (rádio, spoje pro dálkové ovládání, optické vodiče, počítačové sítě LAN apod.) [9]. Pro dálkové datové přenosy se zásadně používají metalická vedení a v případech, kde to není možné, bezdrátové technologie. Nejjednodušší přenosovou cestou je veřejná telefonní síť, po které lze přenášet jak analogové, tak digitální informace. Tato komunikace ale svazuje energetiku s jinou společností a zvyšuje tak cenu datového telegramu.

V datových sítích LAN a WAN, které jsou už v současné době vybudovány, se používají převážně optické vodiče. Implementace optických vodičů je dnes u nových přenosových vedení samozřejmostí. Nejvíce se optické sítě provozují jako kombinovaná zemní lana nad silovým vedením. Další možnosti jsou pomocí zemních optických nebo samonosných optických kabelů. Výhodou optických sítí je odolnost proti EMI a možnost využití vlastní komunikační sítě bez závislosti na jiné společnosti.

V energetice také můžeme využít DLC a PLC technologie, které kódují a modulují na nosnou frekvenci informaci, která je určena pro přenos po síti nn a vn [9]. Tyto technologie využívají obousměrnou komunikaci a lze je rozdělit na dvě části:

1. vlastní komunikační modem
2. přenosovou trasu

Vlastní komunikační modem umožňuje modulaci a demodulaci. Fyzicky ale také umožňuje implementaci teoretických postupů, které plynou z komunikace po přenosové trase. Jelikož již dlouhou dobu využíváme jednosměrný signál HDO, který je obdobný jako PLC, můžeme spolehlivě využívat teoretické poznatky tohoto přenosu. PLC systém komunikuje na frekvenci (9-148 kHz), která je určena národní tabulkou pro přenos [10]. Implementace PLC do systému je dána zákony [11]. Tyto zákony pojednávají o bezpečném provozu a míře hodnoty EMC.

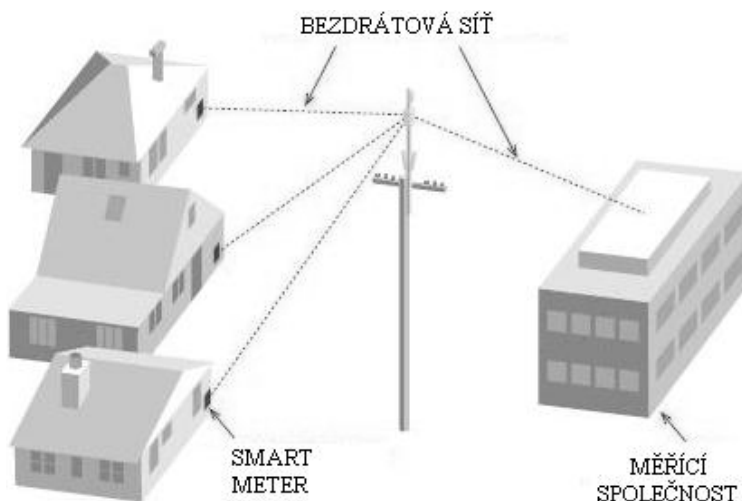
Bezdrátový přenos pomocí rádiových sítí je novým způsobem, který umožňuje provádět přenosy cíleně na jednotlivé přístroje. V současné době se využívají systémy s označením *RF*. Dále můžeme využít pro přenos dat GSM síť nebo satelitní přenos. Jejich cena se v poslední době výrazně snížila na úroveň, kdy může konkurovat optickým a metalickým sítím [9]. Pro správnou volbu přenosového média musíme respektovat náklady a rámcové podmínky.

3.1 Základní komunikační vrstvy

Vrstvy se mohou u různých systému lišit, ale princip je v podstatě podobný. Například systém UTILIS od firmy SITRONICS TS nabízí integrované automatizované „real-time“ měřící řešení na principu tří základních vrstev [12]:

3.1.1 Vrstva inteligentních metrů

Tato vrstva je určena pro SM, které jsou integrovány do systému, a umožňuje komunikaci s koncentrátorem dat. Komunikace probíhá na předem domluvené *SW* platformě. Na *obr. 3.1* je ukázka komunikace pomocí bezdrátové sítě. Jedná se o *RF* spojení více domácností s koncentrátorem dat.



Obr. 3.1 Bezdrátový přenos [13]

3.1.2 Komunikační vrstva

Mezi koncentrátorem dat a databázovým serverem volíme různé typy komunikací podle možností a potřeby. Nejjednodušší je komunikace po elektrickém vedení PLC nebo optickým vláknem. Můžeme také využít síť GSM nebo místní počítačovou síť MAN. Tyto sítě ale v současné době vytlačují GPRS TCP/IP se stálým spojením, místní počítačová síť MAN TCP/IP a stále virtuální COM spojení [12].

Přenos dat z koncentrátorů může také probíhat pomocí SMS zpráv. V dnešní době se začínají stále více objevovat komunikace pomocí *RF* komunikace s datovými koncentrátoři v bezlicenčním pásmu 433/868 MHz [14].

Komunikace mezi koncentrátorem a dispečinkem je možná pomocí používané sdělovací techniky. Nejrozšířenější bezdrátová síť je GSM, která právě umožňuje komunikaci SMS nebo GPRS. Velkou výhodou je možnost využívání různých typů přenosu současně. Dispečer pak disponuje komunikačním serverem, databázovým serverem a stanicemi se specializovanými klientskými aplikacemi.

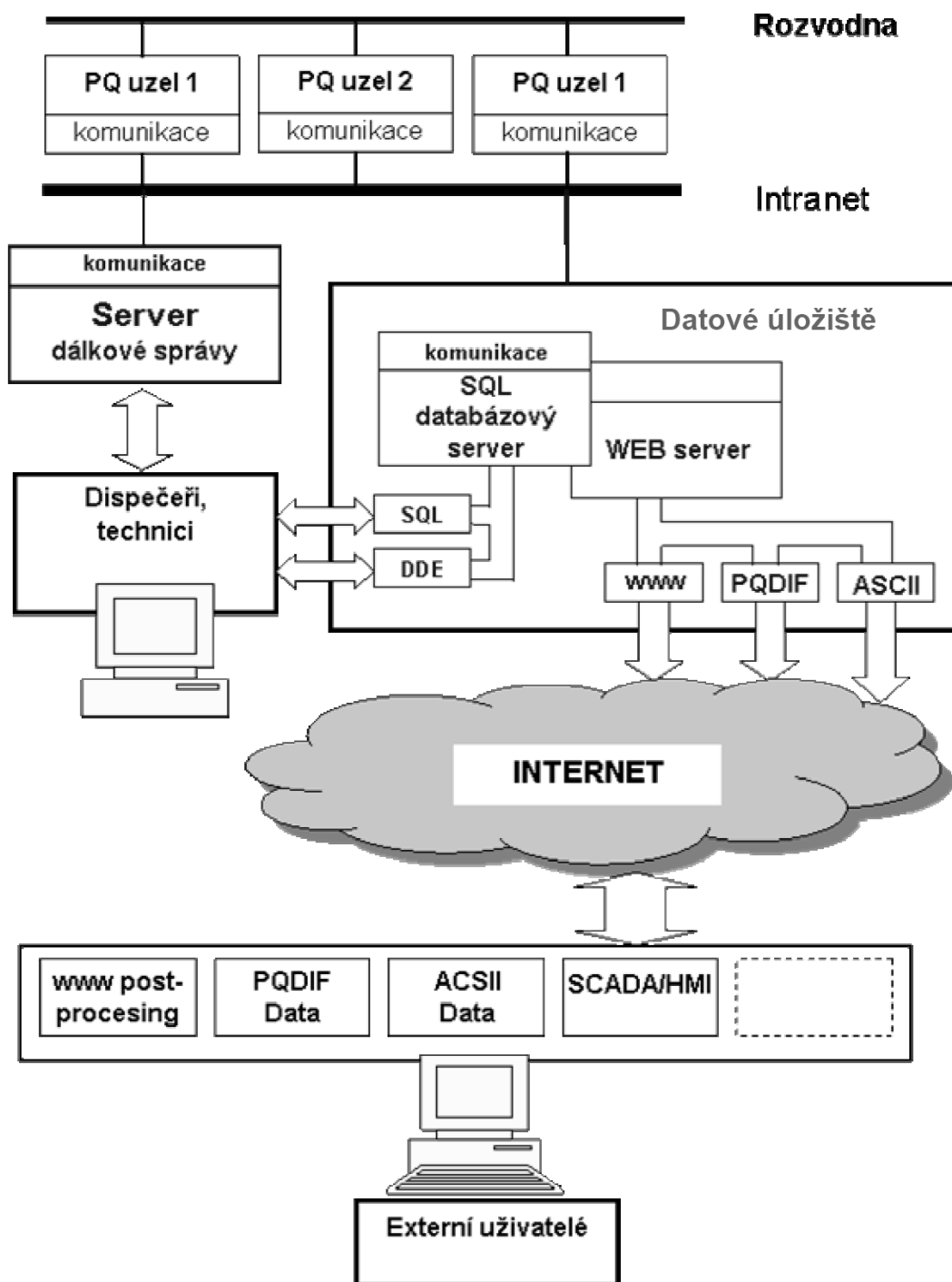
3.1.3 Chytrá měřicí SW vrstva

Jedná se o různé kombinace použitých modulů a jejich *SW* pro měření, řízení a ukládání na databázové servery, které mezi sebou umožňují „real-time“ komunikaci.

Mohou tedy mezi sebou komunikovat a při tom sledovat hospodářské dění a flexibilně reagovat na změny tarifů na energetickém trhu. V závislosti na mřížovém monitorování mohou pomocí alarmu upozornit na velké změny v sítích, tyto změny zaznamenat a statisticky nebo kvalitativně analyzovat.

3.2 Datová komunikace

Na obr.3.2 je znázorněna bloková struktura distribuovaného systému pro monitoring a zjišťování kvality elektrické energie BK ELCOM. Data naměřená v rozvodnách nebo jiných MM jsou pomocí komunikační vrstvy přivedena do centrálního datového úložiště. Datové úložiště tvoří databázový server pro archivaci měřených dat a WEB server s prostředkem pro převod na standardizovaný formát a publikaci těchto dat na intranetu. WEB server umožňuje pomocí *www* prohlížeče vzdálenou prohlídku dat na centrálním databázovém SQL serveru.

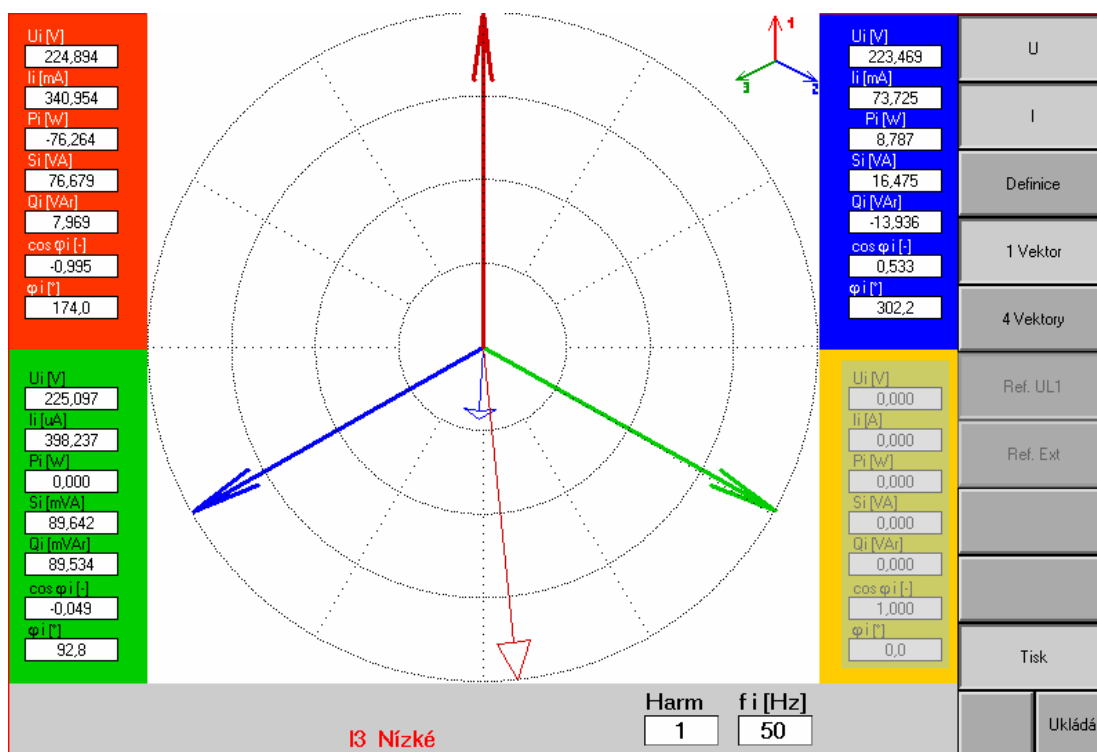


Obr. 3.2 Bloková struktura distribuovaného systému monitoringu BK ELCOM [15]

3.2.1 Online měření pomocí analyzátorů

Analýzátory od firmy ELCOM sledují aktuální hodnoty při daném nastavení. Aktuální vektorový diagram zobrazuje fázové poměry mezi jednotlivými kanály. Aktuální napětí a proudy jsou nastaveny pro naši konfiguraci. Sledované hodnoty jsou vidět *on-line* (mění se s časem). Tyto „real-time“ skutečnosti zobrazují *SW* moduly vektorskop a osciloskop.

Vektorskop - zobrazuje vektory (hodnoty napětí) v reálném čase v daném MM na jednotlivých lichých harmonických (sudé neuvažujeme, protože jsou příliš malé). Měříme tedy okamžité parametry napětí. Fázové poměry v místě připojení analyzátoru jsou zobrazeny na obr. 3.3 s první lichou harmonickou.



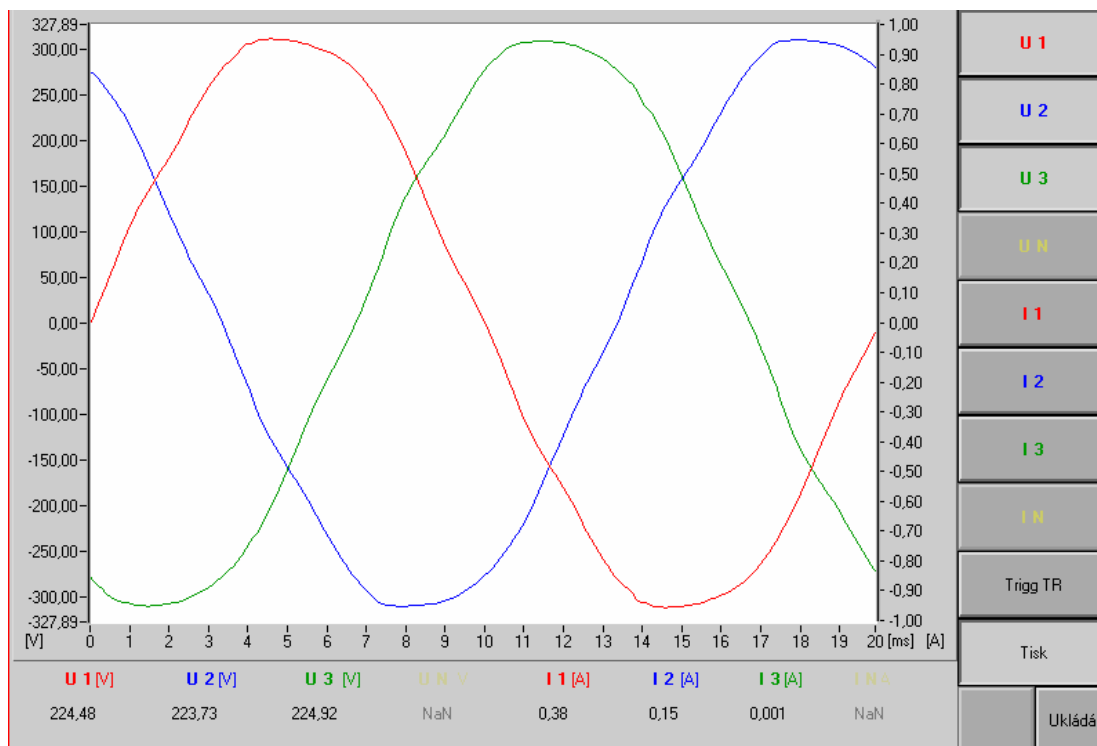
Obr. 3.3 První harmonická [16]

V bočních částech jsou vidět základní elektrické veličiny jednotlivých měřených kanálů [16].

$U_i [V]$	RMS hodnota napětí dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$I_i [A]$	RMS hodnota proudu dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$P_i [kW]$	hodnota činného výkonu dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$S_i [kVA]$	hodnota zdánlivého výkonu dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$Q_i [kVar]$	hodnota jalového výkonu dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$\cos \varphi_i [-]$	účiník dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou
$\varphi_i [st]$	úhel mezi napětím a proudem dané fáze pro vybranou harmonickou/meziharmonickou ve stupních

Tlačítka I a U umožňují zapínat a vypínat zobrazení dané veličiny ve fázorovém diagramu. Při zobrazení pouze jedné veličiny je diagram doplněn stupnicí pro odečet velikosti fázorů.

Osciloskop - pomocí modulu osciloskopu můžeme zobrazit všechny kanály a měřené veličiny v závislosti na čase. To je zobrazeno na obr. 3.4, kde vidíme hodnoty napětí tak, jak vypadají ve skutečnosti. Jsou mírně deformované, jde o základní harmonické napětí.



Obr. 3.4 Panel osciloskopu [16]

Dále můžeme zobrazovat časové průběhy :

- efektivních hodnot
- výkonů
- frekvence
- zkreslení

3.3 Hranice pro implementaci zařízení

Reálný čas je v energetice vzhledem k technologickým procesům relativní. Doby odezvy při řízení rychlých pohybů dat jsou v řádu mikrosekund, při běžném řízení strojů se jedná o milisekundy a např. při dispečerském řízení procesů běžně o jednotky sekund. Jelikož se tedy pohybujeme v rozmezí pěti řádů, musíme vhodně zvolit real-timeové komunikační prostředky. Komunikační prostředky nezávisí jen na rychlosti odezvy, ale i na komunikační vzdálenosti a přenosové rychlosti, kterou ovlivňuje objem přenášených dat.

U všech měřicích zařízení je velký komunikační problém. Vzhledem k proměnlivým přenosovým prostředím a lokalitám použití je nutné najít optimální řešení pro všechny aplikace. Kde to není možné a byla by velká nespolehlivost, je nutné použít i dvou komunikačních rozhraní.

U zařízení, která chceme použít pro měření nebo odečet očekáváme komunikační rozhraní:

- M-Bus
- RF 433/868 MHz
- IrDA
- Ethernet
- GSM
- Dial-up
- RS-232
- RS-485
- USB

Nevýhodou je, že některá rozhraní neumožňují přenosy na velké vzdálenosti. Musí být vybaveny již po krátké vzdálenosti opakovačem nebo převodníkem na jiné rozhraní a nebo rovnou datovým koncentrátorem. Vkládáním opakovačů se celkový systém prodražuje, a proto se snažíme dosáhnout toho, aby počet opakovačů byl co nejmenší. Opakovače není nutné vkládat tam, kde je v celé oblasti použit jeden zdroj [10]. To platí pro většinu případů, ale existují i extrémně zarušené části systému. V těchto částech je nutné opakovače použít, protože některá vzdálená MM by neměla trvale kvalitní úroveň signálu.

Komunikační rozhraní může být klíčové při výběru jednotlivých přístrojů do částí nebo celého systému. Každé rozhraní má jiné přenosové vlastnosti a dovoluje bezchybný přenos na rozdílné vzdálenosti. Proto byl zaveden standard *M-Bus*, který je primárně určen pro dálkové odečty měřidel spotřeby energií. Tento standard je zatím stále ještě ve vývoji, ale je už natolik ustálen, že lze na jeho základě navrhovat jednotlivé prvky a budovat celé systémy. Standardizace protokolu umožňuje uživatelům kombinaci systémů s měřidly různých výrobců.

Základní charakteristika *M-Bus*:

- Vysoký počet měřidel připojitelný do systému, řádově až několik set.
- Překonání velkých vzdáleností, řádově až několik kilometrů.
- Možnost rozšiřování sítě o další měřidla.
- Individuelní adresace (odečet jednotlivých měřidel nebo celé soustavy).
- Vysoká odolnost proti vnějším vlivům
- Nízké investiční náklady.
- Odpovídající rychlost přenosu (*až 9600Bd*) a vysoká integrita dat - data jsou využívána pro fakturaci [17].

4 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A ARCHIVACE DAT

Dnešní doba si s rostoucí digitalizací klade stále větší požadavky na archivaci dat. Archivace dat je velice důležitá pro jejich následující zpracování. Firma ELCOM nabízí kompletní řešení přístrojů s různými zásuvnými *SW* moduly. Z těchto přístrojů můžeme zkombinovat analyzátor s různými funkcemi, které koncový uživatel požaduje, aniž by musel zasahovat do *HW* přístroje.

Analyzátor BK ELCOM umožňuje archivaci naměřených dat a možnost připojení standardních periférií přímo k analyzátoru (tiskárna, zapisovací jednotka CD ROM k archivaci výsledků měření, modem pro dálkovou správu analyzátoru, USB disk nebo USB kabel pro snadný transport dat do jiného počítače) [15].

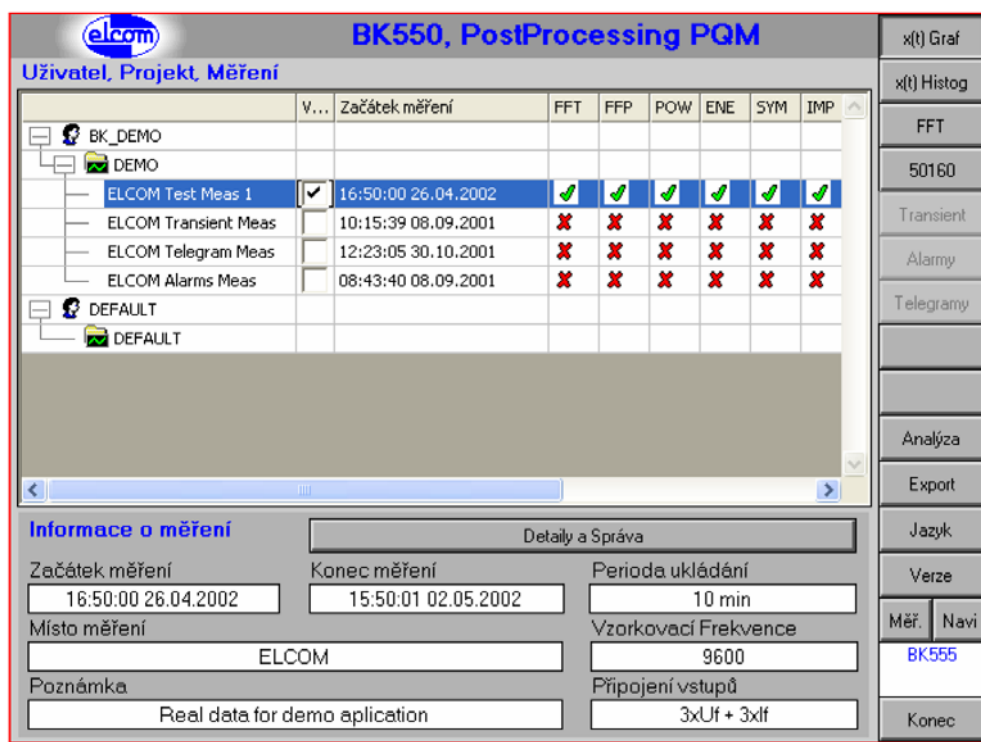
Analyzátor umožňuje paralelně běžící *SW* procesy, kde hlavním procesem je sběr dat z měřicí karty nebo jiného zdroje dat. Další procesy, které tyto přístroje umožňují - analyzují, vizualizují a archivují měřená data. Pro vizualizaci jsou tyto přístroje vybaveny grafickým rozhraním pro jednoduchou správu měřených dat.

4.1 Zpracování naměřených dat

Modulární systém BK ELCOM umožňuje vyhodnocovat naměřená data, aniž by byl uživatel vázán na *SW* modul, ve kterém byla data naměřena. Takto získaná data jsou uspořádána ve stromové struktuře, kde se nachází v daném archivu příslušných dat. Ze stromové struktury si může uživatel vybrat až dvě měření, u nichž chce analyzovat a srovnávat naměřená data.

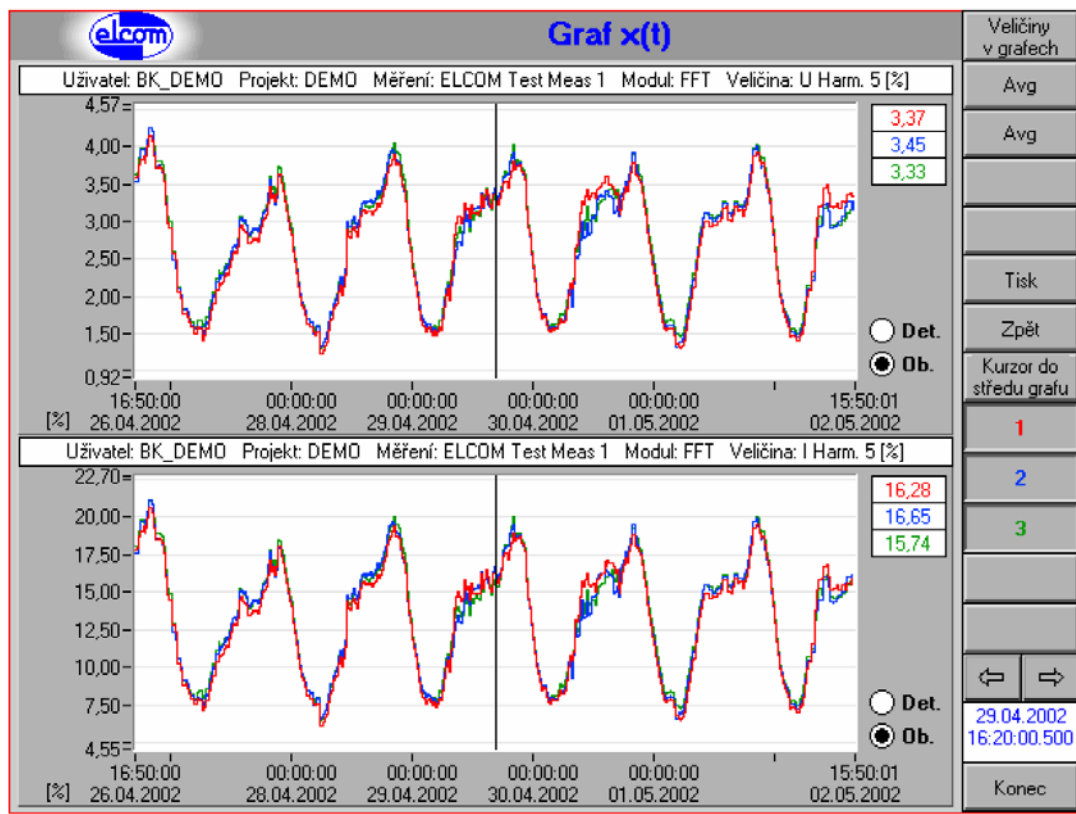
Vyhodnocovaná data mohou být z jednoho místa v rozdílném čase nebo různých míst ve stejném nebo rozdílném čase, kde měření proběhlo. Tato naměřená data můžeme sledovat v několika pohledech:

- pohled v časové oblasti – časový průběh libovolné veličiny
- pohled ve frekvenční oblasti – spektrum libovolné veličiny
- pohled statistický – histogram libovolné naměřené veličin
- pohled speciální – pro některé *SW* moduly dáno normou [8]



Obr. 4.1 BK ELCOM a jeho grafické rozhraní [15]

BK ELCOM nabízí uživateli mnoho pohledů v grafickém rozhraní. Jeden pohled můžeme vidět na *obr. 4.1*. Uživatel má také k dispozici dva grafy do protokolu, kde může vybrat libovolné veličiny, které chce sledovat (*obr. 4.2*). Zpracování protokolu o naměřených datech můžeme provádět přímo na analyzátoru (*obr. 4.3*) nebo přenést data do PC, kde máme k dispozici výkonnější nástroje.



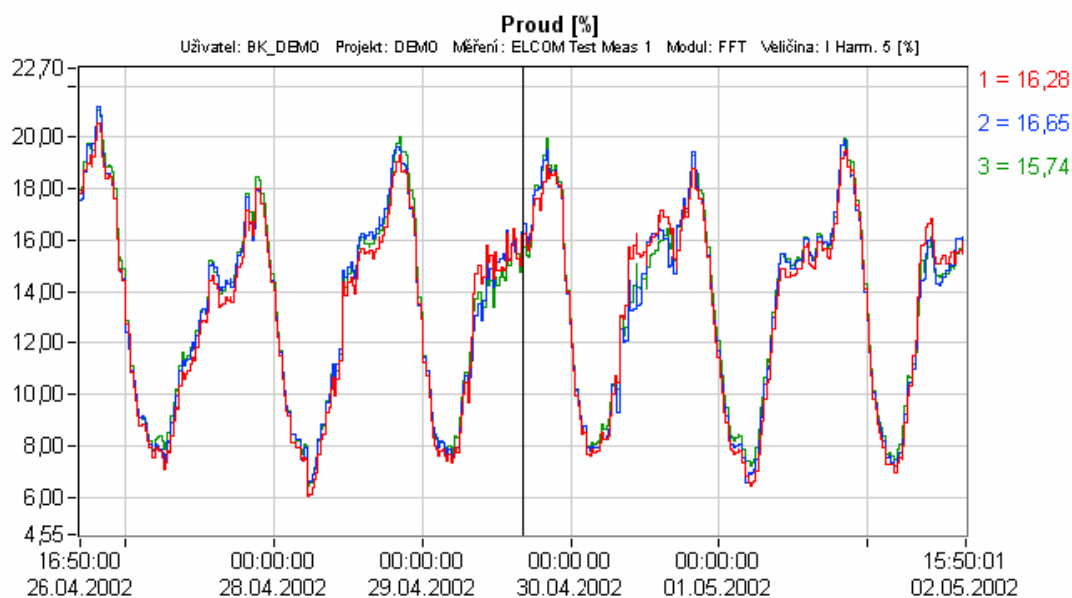
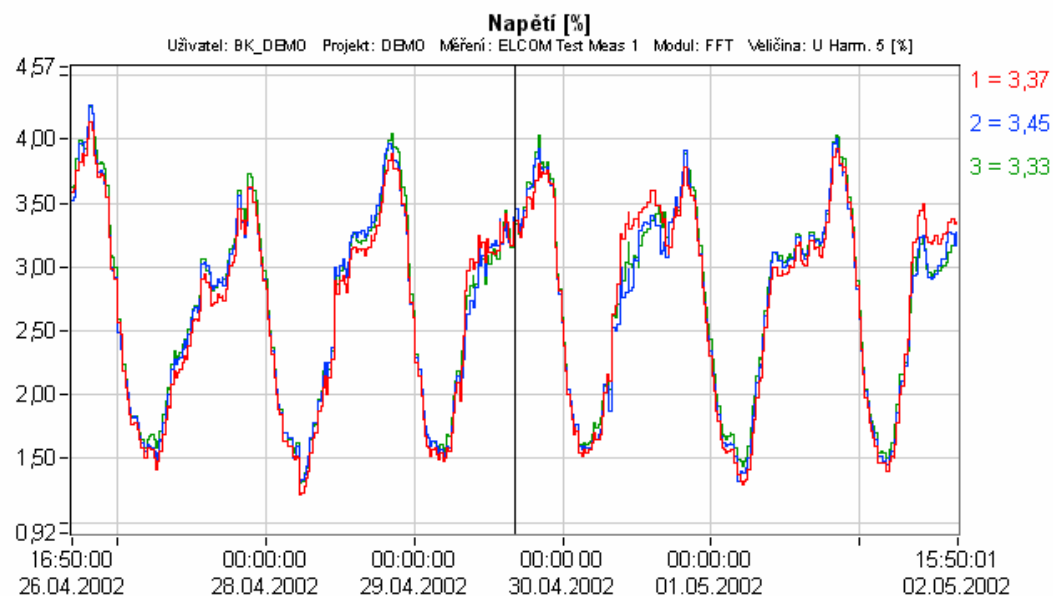
Obr. 4.2 Časové průběhy měřených veličin v analyzátoru BK ELCOM [15]

Na analyzátory je kladen požadavek, aby ukládaly hodnoty do nějakého standardizovaného formátu například PQDIF [15]. Tento požadavek otevírá cestu ke sdílení dat získaných v MM. Potom můžeme u sdílených dat vyhodnotit kvalitu elektřiny na různých přístrojích, které tento mezinárodní standardizovaný formát podporují. Systém BK ELCOM je vybaven konvertorem umožňujícím *off-line* transformaci naměřených dat do zmíněného formátu. Když splníme požadavek na modul (analyzátorů BK ELCOM) tak můžeme rychle a pohodlně zpracovat naměřená data.



Časový průběh páté harmonické

	1. Graf	2. Graf
Místo měření:	ELCOM	ELCOM
Jméno operátora:		
Přístroj:	V: 2.0.1 24. 4. 2002, Lic.: 2002-01-01	V: 2.0.1 24. 4. 2002, Lic.: 2002-01-01
Popis:	Reálná data pro demo	Reálná data pro demo
Interval ukládání:	10 min	10 min
Začátek měření:	26.04.2002 16:50:00	26.04.2002 16:50:00
Konec měření:	02.05.2002 15:50:01	02.05.2002 15:50:01
Referenční napětí:	230,0 V	230,0 V



Datum:

Podpis:

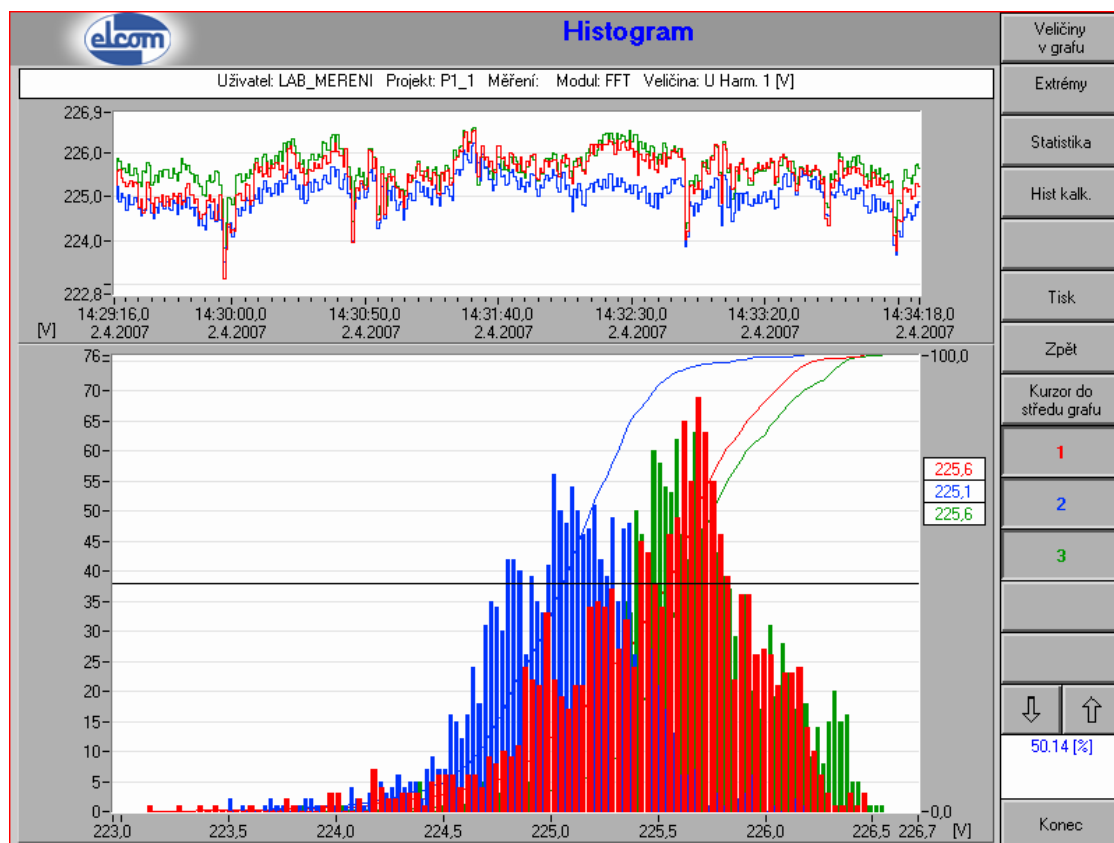
Demo verze BK ELCOM

Obr. 4.3 Protokol časového průběhu měřené veličiny v analyzátoru BK ELCOM [15]

4.2 Postprocesingové zpracování

Podrobnější zpracování provádíme v postprocesingu, kde data načteme a podíváme se jak vypadají. V tomto měření je vidět začátek ve 14:29:16 a konec je po nastavené délce časového úseku 5 minut. Tento časový úsek chceme postprocesingově zpracovávat. Jedná se o první harmonické napětí ve třech fázích.

Uvažujeme, že základní harmonická napětí má nahoře malou deformaci. Jednotlivé fáze se mezi sebou liší. Například první fáze se pohybuje od maximální hodnoty 226,5V po minimální hodnotu 223V což udělá rozdíl napětí 3,5V v měřeném čase, jak můžeme vidět v horní části obr. 4.4. Pomocí analyzátoru můžeme zobrazit všechny hodnoty napětí, proudu a výkonu po jednotlivých harmonických a vyhodnocovat je.



Obr. 4.4 Histogram za časový úsek [16]

Dále můžeme zobrazit celkové hodnoty energie a jednotlivé složky (zpětnou, souslednou, nulovou) atd. Na obr. 4.4 dole je zobrazen statistický průběh první harmonické s četnostmi výskytu napětí v jednotlivých fázích:

- 1. fáze - červené rozložení s maximální hodnotou 225,7 V
- 2. fáze - modré rozložení s maximální hodnotou 225 V
- 3. fáze - zelené rozložení s maximální hodnotou 226,6 V, které je téměř shodné jako v první fázi

Měřená data můžeme zpracovávat:

- v procentech
- ve skutečných hodnotách
- v efektivních hodnotách
- extrémy průměrných hodnot (maxima, minima)

Můžeme nechat zobrazit minimální hodnotu pomocí panelu monitoru výkonu a energií *obr. 4.5*.

	1	2	3	3~	N		
U [V]	225,20	224,35	225,48	225,01	0,00	Avg	Tabulka
I [A]	0,38	0,14	0,00	0,23	0,00	f [Hz]	Graf
P [kW]	-0,076	0,008	0,000	-0,067	0,000	49,994	
S [kVA]	0,085	0,032	0,000	0,117	0,000	α_u [%]	
Q [kVar]	0,039	-0,031	0,000	0,009	0,000	24311,805	
P1 [kW]	-0,076	0,008	0,000	-0,067	0,000		
Q1 [kVar]	0,007	-0,011	0,000	-0,004	0,000		
cos φ	-0,996	0,614	-0,215	-0,749	0,000		
PF	-0,887	0,264	-0,054	-0,571	0,000		Inicializace
AP [kWh]	-0,008	0,001	0,000	-0,007	0,000	Energie	Energie
AS [kVAh]	0,009	0,004	0,000	0,013	0,000		Max
AQ [kVAh]	0,004	-0,003	0,000	0,001	0,000		Min
AP1 [kWh]	-0,008	0,001	0,000	-0,007	0,000		Tisk
AQ1 [kVAh]	0,001	-0,001	0,000	-0,000	0,000		
APin [kWh]	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000		
APout [kWh]	-0,008	0,000	0,000	-0,007	0,000		
AQL [kVAh]	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000		
AQC [kVAh]	0,000	-0,003	0,000	0,000	0,000		Zastav Ukládá

Obr. 4.5 Panel monitoru výkonů a energií - volba minimální hodnoty [16]

4.3 Výkonový síťový analyzátor

Analýzátory využíváme hlavně k měření zpětných vlivů na napájecí síť. Například analyzátor ENA500 ze systému BK ELCOM může monitorovat a analyzovat kvalitu elektrické energie. Zajímají nás rychlé napěťové změny RMS hodnoty za jednu periodu. Kritérium, které hledáme, je kmitočet rušivých signálů. Základním kmitočtem sítě je pro nás průmyslový kmitočet 50 Hz.

Zpětné vlivy na základní kmitočet mohou být [18]:

- Podsynchronní (pod 50 Hz, přepětí, podpětí, výpadky ...atd.)
- Synchronní (přenos jalové energie)
- Nadsynchronní (omezení na 50 harmonickou, především vyšší harmonické, harmonické proudy a napětí)

Síťový analyzátor je dvou-systémový, dokáže měřit na transformátoru primární i sekundární napětí. Měří 4 proudy na jednom i druhém uzlu.

Pro nás je velice významný napájecí bod (PCC)², protože zde dochází k předávání energie od dodavatele k odběrateli. Toto udává norma [6], kterou tyto analyzátoři musí respektovat. Vyhodnocované okno (interval analyzátoru) uvažujeme pro $T = 10$ period, což představuje u průmyslového kmitočtu čas $t = 200$ ms. Při používání časového okna 200 ms nemůžeme použít FFT, ale použijeme DFT (9600 vz/s) [18]. Toto časové okno 200 ms uvažujeme zároveň u tří zapojených vývodů z možných deseti. Měření provádíme kontinuálně, a proto jsou výpočty hodně náročné na zpracování. Monitor napětí monitoruje hodnoty viz *tabulka 4-1* níže:

Tab. 4-1 Monitorované hodnoty[16]

Měřená hodnota	Základní šířka okna	Časový interval pro vyhodnocení
Frekvence	200 ms	10 s
RMS napětí	200 ms	10 minut
harmonické napětí	200 ms	10 minut
kolísání napětí (flickr)	200 ms	120 minut
krátkodobé poklesy	20 ms	-
krátkodobá přerušení	20 ms	-
dlouhodobá přerušení	20 ms	-
dočasná přepětí	20 ms	-
nesymetrie	200 ms	10 minut

Z těchto hodnot nás zajímá střední geometrická hodnota (z týdenních hodnot určujeme percentil 95 %). Zpracování probíhá v souladu s normou [8] za časový úsek.

4.3.1 Konstrukce analyzátoru ENA500 [16]

➤ Hardware:

- Výkonné jednoúčelové PC mechanicky a teplotně odolné ($-25\text{ }^{\circ}\text{C} \div 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Paměť 64 MB (256 MB jsou zatím moc drahé)
- Rozhraní 2 x COM, 2 x USB, Ethernet

➤ Software

- Operační systém Windows 2000 (Windows XP)
- Softwarové moduly obr. 4.6
 - FFT analyzátor harmonických (dle norem [6], [8])
 - Osciloskop
 - Vektorskop



Obr. 4.6 Softwarové moduly [16]

- a mnoho dalších modulů podle potřeby

Můžeme nastavit napěťový rozsah 250 V AC, což je hodnota RMS měřeného napětí uvažované pro percentil > 95 % a 100 % \Rightarrow 5 % nejvyšších hodnot bude z měření vyloučeno.

4.3.2 Vzorek (sample) efektivních hodnot na analyzátoru:

Za nějaký časový úsek si můžeme uložit vzorek a podívat se na časový průběh. Provádíme to pro další statistické zpracování. Během velmi krátkých časových úseků se toto napětí značným způsobem mění. Využíváme k tomu FFT modul pro ukládání FFT signálu analýzy napětí. Měření můžeme spustit manuálně nebo z externího signálu. Při zpracování v časové oblasti zadáme začátek a konec měření. Provedeme tzv. agregaci, kdy budeme měřit 200 ms hodnoty efektivního napětí. Navzorkujeme s frekvencí třeba 19,7 kHz 200 ms tohoto signálu a ty pošleme pro zpracování.

Z nich pak :

- počítáme efektivní hodnotu
- počítáme střední efektivní hodnotu z 200 ms
- uděláme se FFT ze 20 ms
- vypočtou se jednotlivé harmonické
- vypočte se celkové jednotlivé zkreslení (pro napětí, proudy, výkony ... atd)

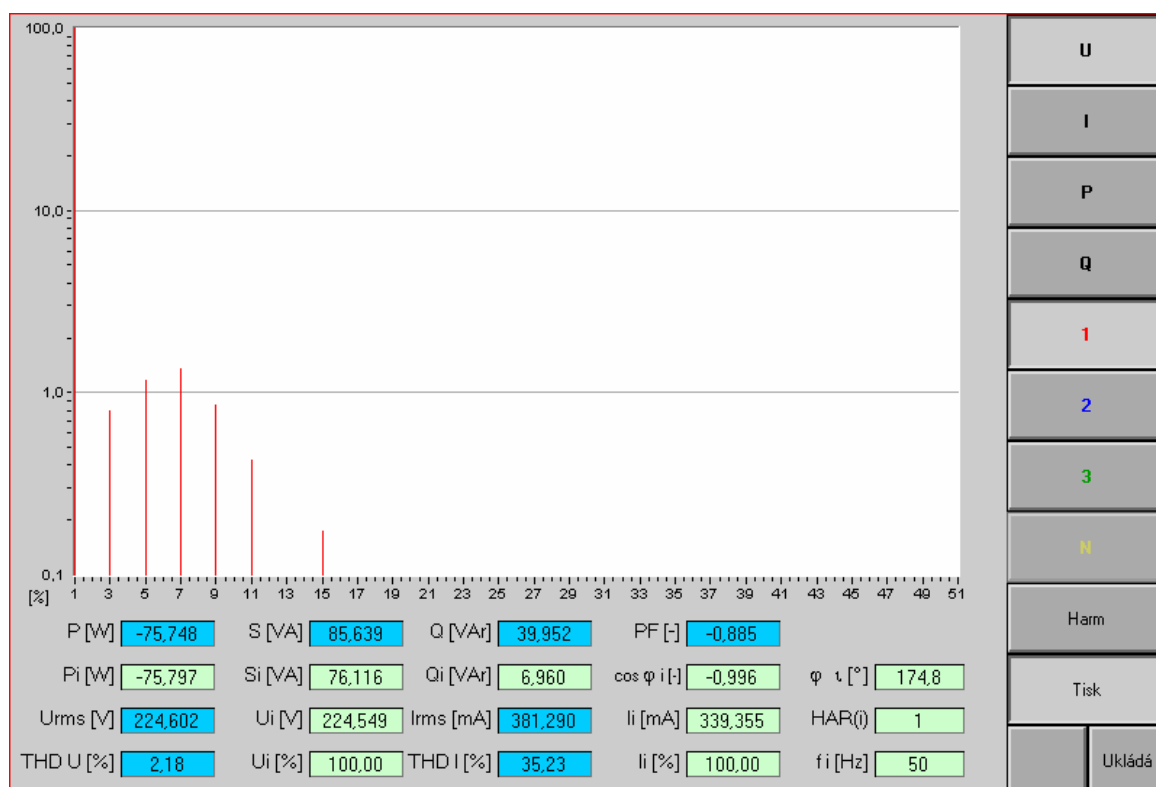
Analyzátor ukládá 200 ms hodnoty nepřetržitě za sebou. Hodnoty agreguje, například za 10 minut vypočte z efektivních hodnot střední, maximální a minimální hodnoty.

Časový úsek pro agregaci může být například 10 min, 15 min, 2 hod atd. Abychom těchto hodnot neměli hodně, zadáme ukládání každé 200 ms hodnoty. Program nám po spuštění tlačítka START vypočte celkovou dobu měření. Čas, který nastavujeme, je omezen velikostí disku (nejnáročnější je ukládání s periodou 200 ms včetně mezi-harmonických) [18].

Během ukládání ukazuje počet dosud uložených vzorků. Je lepší uložit přes 1000 vzorků, aby bylo dostatek dat pro zpracování. Zajímá nás časový záznam měření, ze kterého si můžeme vzít časový úsek, který můžeme dále zpracovávat. Když budeme např. měřit hodnoty po deseti minutách, tak za týden budeme mít změřeno 1008 hodnot.

4.3.3 Analyzátor harmonických a mezipharmonických

Provádíme analýzu měřených napěťových a proudových signálů pomocí DFT, maximálně ale do 50 harmonické 2500 Hz a to současně na všech napětích sítě. Je to omezeno přístrojem. Na pravé liště v obr. 4.7 lze zvolit, která veličina má být v podobě spektra zobrazena v grafu a pro kterou fázi.



Obr. 4.7 Panel analyzátoru harmonických a mezipharmonických [16]

5 VYUŽITÍ DÁLKOVÉHO MĚŘENÍ V ENERGETICE

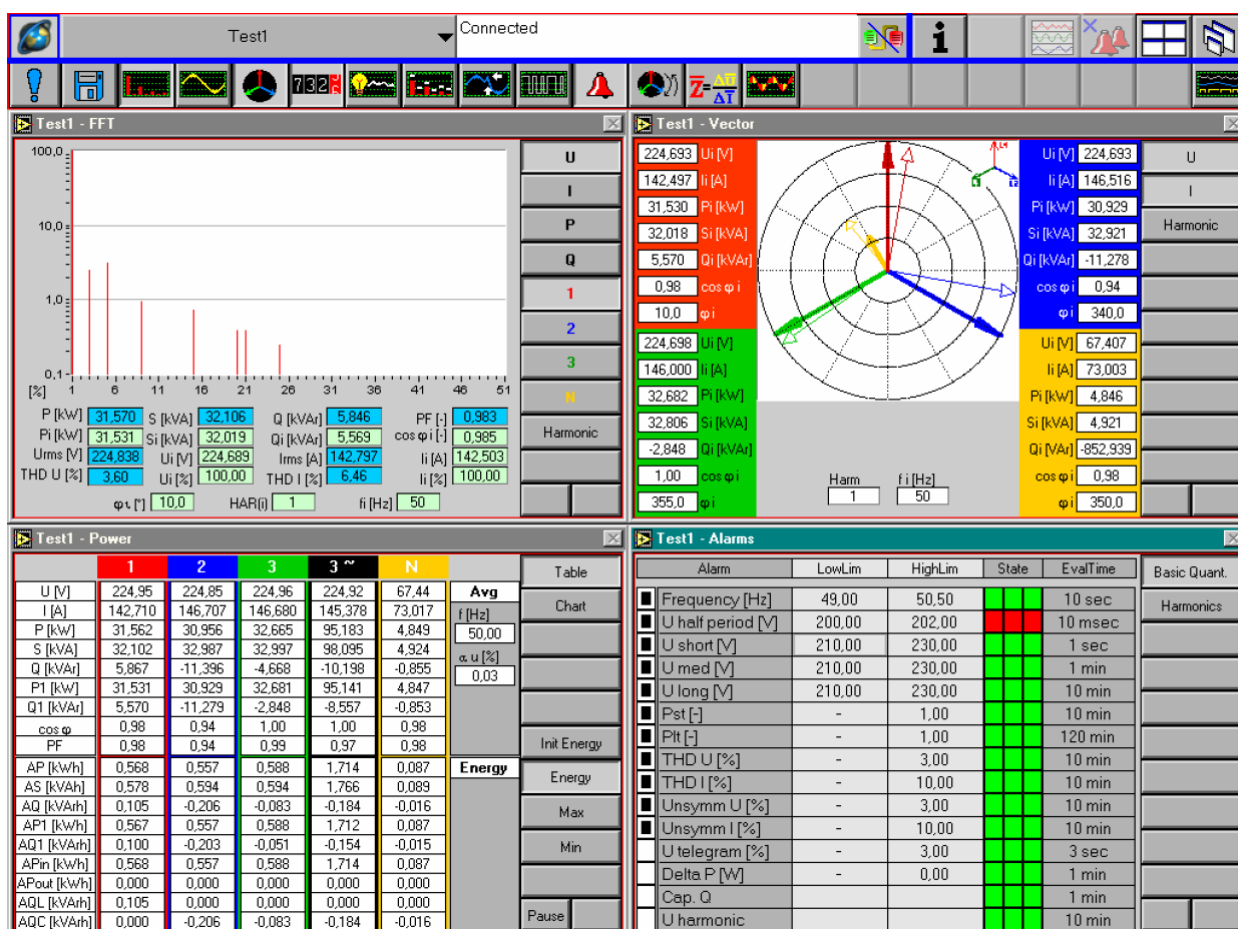
Dálkový přenosový systém v energetice má za úkol zajistit automatizovaný sběr dat z MM pomocí různých přístrojů s rozdílnou strukturou, přenosovými protokoly a rozdílnými přenosovými cestami. K dálkovému přenosu přistupujeme, abychom zjistili současný stav ES.

Síť se v poslední době stává neregulovatelnou z těchto důvodů [19] :

- oddělování výroby, přenosu a distribuce
- více zájmových skupin ovlivňujících plánování, rozvoj a provoz
- provozu ES na velkém území
- omezené výstavby nových zařízení (systémy jsou někdy i za hranicí kapacity)

Proto je kladen větší důraz na zvýšenou péči o spolehlivost v provozu soustavy. Jedním z nástrojů je zlepšení monitorování, aby řízení provozu s využitím systémů pro řízení rozsáhlých sítí bylo s vyšší přesností a rychlostí. Zlepšení monitorování vede na dálkové měření

Dálkové měření je dáno dálkovou správou přístrojů, které umožňují automatizovat proces měření s vyloučením lidského faktoru jako zdroje chyb. Analyzátoři BK ELCOM umožňují pomocí komunikačních rozhraní dálkově spravovat a konfigurovat přístroje pro měření a čtení naměřených hodnot. Správu všech MM, na kterých jsou analyzátoři kvality elektrické energie nasazeny, lze provádět z jednoho centra pomocí telefonní linky nebo počítačové sítě. Nástroj pro následnou prohlídku a vyhodnocení dat uložených během měření je oddělen od vlastního přístroje. Tímto nástrojem je aplikace běžící na osobním počítači v prostředí operačního systému. Možnosti funkcí a uživatelského komfortu tohoto nástroje představuje systém pro identifikaci a analýzu kvality dodávky elektrické energie.



Obr. 5.1 Vizualizační rozhraní pro dálkovou správu analyzátoru BK ELCOM [15]

Systém BK ELCOM byl dopracován do podoby stavebnice, ze které lze sestavit distribuovaný stacionární systém monitoringu kvality elektřiny zastřešený databázovým serverem (obr. 3.2). Na datový server jsou data ukládána do SQL databáze [15]. Tento server tedy pracuje na bázi standardního prohlížeče www stránek a umožňuje prohlídku naměřených dat uložených v databázi serveru. Uživatel si nemusí v místě prohlídky instalovat žádný dodatečný SW, má-li k dispozici standardní internetový prohlížeč.

Analýzátor PNA600 od firmy ELCOM je vybaven komunikačním rozhraním USB, Ethernet a sériovým RS-232, použitelným pro komunikace s UPS nebo modemem. Bez připojení na datový koncentrátor by nemohl být analyzátor použit pro dálkovou správu, a proto se snažíme, aby vzdálenost koncentrátoru byla úměrná použitému rozhraní. Úlohu dálkové správy nejlépe plní analyzátor ENA500 a ENA440 také od firmy ELCOM, které mají konfigurační a vizualizační jednotku obr.5.1. Konfigurační a vizualizační jednotkou je PC, na kterém lze spouštět, zastavovat, prohlížet měření a stahovat naměřená data. Komunikace je možno provést propojením lokální počítačové sítě s optickou nebo telekomunikační sítí.

5.1 Systém BK ELCOM

Systém BK ELCOM sdružuje přístroje, ze kterých si uživatel může vybrat ty, které pro vlastní analýzu potřebuje. Současné přístroje nabízí následující funkce:

- analyzátor harmonických a mezipharmonických
- monitor výkonů a energií
- osciloskop
- vektorskop
- měřič blikání
- monitor napětí podle normy [8]
- transientní zapisovač
- analyzátor signálu HDO
- analyzátor symetrických složek sítě
- analyzátor impedance sítě
- monitor alarmů
- monitor efektivní hodnoty napětí za půlperiodu

Systém BK ELCOM tak představuje distribuovaný systém monitoringu v různých SW a HW platformách pro dálkovou správu nad měřenými daty. Tento systém umožňuje měření elektrických veličin respektive synchronních fázorů v reálném čase, jak je uvedeno v kapitole (3.2.1).

Elektrické veličiny (napětí a proudy) můžeme v síti definovat vztahem (5.1)

$$x(t) = X \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (5.1)$$

kde φ je úhel – natočení vektoru pro čas $t = 0$,

X je náš sledovaný vektor.

Plošné měření synchronních fázorů napětí a proudů například pomocí analyzátorů BK ELCOM v rozsáhlých sítích pak poskytují informaci o vzájemném úhlu mezi synchronními fázory. Fázory posuzujeme ve stejný čas $t = 0$ a jejich změně v čase. Pro přehledné zobrazování volíme jeden fázor jako referenční $\varphi_r = 0$ a ostatní k němu vztáhneme. Tím získáme soubor relativních fázorů s referencí sledované veličiny. Pomocí telefonní linky nebo počítačové sítě (nejlépe GPS) zajistíme synchronizaci měření všech posuzovaných analyzátorů. V současnosti je systém využíván v západočeské energetice [20].

Použité analyzátory musí být v provedení pro použití do terénu. Na *obr. 5.2, 5.3, 5.4 a 5.5* jsou ukázky *HW* podoby analyzátorů. V těchto robustních a mechanicky odolných provedeních se skrývají výkonné personální počítače.



Obr. 5.2 PNA 600 vlevo [16],



Obr. 5.3 ENA 500 vpravo [16]

Pro účely stacionárního monitoringu v rámci distribuovaných monitorovacích systémů je k dispozici na *obr. 5.4* provedení ENA 440. Toto provedení se hodí pro trvalou instalaci do rozvaděče.



Obr. 5.4 ENA 440 vlevo [16]



Obr. 5.5 ENA 400 vpravo [16]

Do míst, kde je potřeba sdružit monitoring kvality elektřiny z více MM, je možné nasadit analyzátor BK ELCOM v provedení ENA 400, který představuje průmyslový PC s možností zabudování. V tomto provedení lze do jednoho analyzátoru sdružit monitoring až pěti třífázových napěťových systémů.

5.2 Současný stav technologie v praxi

Je důležité si uvědomit, že jsme teprve na počátku využívání těchto nových telekomunikačních systémů. Pokud se zaměříme na inteligentní modemy, začneme více využívat nové komunikační systémy. Existence potřeby zvyšování bezpečnosti, spolehlivosti přenosu a distribuce elektřiny vede na stále nová řešení monitorování stavu sítě.

V současné době se využívají nová vývojová prostředí „SCADA systémy promotiv“, které představují komplexní systémy pro monitorování energetického hospodářství podniku. Jsou v nich implementovány přístroje pro měření a regulaci odběrů energetických médií. Tento systém je primárně určen pro podnikové energetiky, ale i pro management podniku, neboť podává ucelenou informaci o energetických odběrech v různých časových údobích (směna, den, měsíc, apod.), ale poskytuje i informace o organizačních jednotkách podniku.

Systém Promotic Energy dává uživateli vlastní ucelenou informaci o stavu podniku z energetického hlediska. Pomocí těchto dat lze docílit snížení firemních nákladů na energetické vstupy při zachování provozních a technických podmínek výroby. Hierarchie tohoto systému je podobná jako u „smart meteringu“ a má následující strukturu [20]:

- Datové koncentrátoři – pro sběr dat z elektroměrů
- Centrální datový sklad – pro centrální databázi
- Hlavní energetický dispečink – pro monitorování a parametrizaci systému
- Klientská PC – pro energetické dispečinky na podnikovém serveru

Datové koncentrátoři v tomto systému zajišťují sběr energetických dat z elektroměrů. Data z těchto elektroměrů jsou v koncentrátorech zpracována a následně ukládána v lokálních archivech pro případ poruchy spojení s nadřazeným systémem. Po obnovení komunikace jsou data zpětně dočtena do centrální databáze nadřazeného PC. Snímání měřených údajů lze provádět lokálně nebo vzdáleně z MM s přenosem prostřednictvím komunikačních kabelů, telefonních linek pevných i komutovaných, s použitím radiomodemů nebo přes síť mobilních operátorů GSM (GPRS), jak je popsáno v kapitole (3).

Data, která se naměří, jsou jednotně archivována na centrálním datovém serveru, kde mohou být načítána z datových koncentrátorů po různých komunikačních linkách s různými protokoly (TCP/IP, *M-Bus*, apod.). Data do tohoto serveru ale můžeme získávat i z elektronických formulářů, mobilních zařízení PDA a případně jiných zařízení z různých systémů. Komunikační ovladače (*SW*) jsou implementovány do systému SCADA Promotic. Ukládání a archivace je provedena pomocí databázového prostředku MS SQL serveru nebo jiného, podle přání zákazníka. Přístup k datům a funkcím je chráněn uživatelskými právy. Aplikace je synchronizována patnáctiminutovými impulzními vstupy z hlavního elektroměru nebo signálem GPS [20].

Hlavní energetický dispečink dává energetikovi možnost nahlédnout do přehledného vizualizačního rozhraní pro monitorování, ovládání a parametrizaci systému. Energetik si může zobrazit aktuální hodnoty sledovaných měření. Dále může provádět výpočet predikace odběru a vyhodnocení aktuálního stavu s odběrovým diagramem podle smluvených podmínek se zákazníkem. Na vyžádání se mu zobrazují archivované spočítané odběry z měřených úrovní, které může zpětně vyvolávat v časovém okně (čtvrthodině, hodině, dnu, měsíci atd.) [20]. Podle všech zobrazených hodnot pak může dispečer provést radikální rozhodnutí.

Z klientské stanice (PC) na podnikovém intranetu v síti LAN je v reálném čase možné sledovat energetická data provozních technologií.

Systém Promotic Energy používá dva druhy klientů [20]:

- Plný klient – aplikační *SW* má stejné funkce jako dispečerská stanice
- Tenký klient – je na platformě MS Internet Explorer bez nutnosti instalace systému Promotic

System pro další zpracování provádí vyhodnocení a následnou archivaci důležitých událostí nebo zásahů operátora. Vyhodnocení je možné generovat ve formátu HTML s možností archivace a zobrazení v internetovém prohlížeči. Výhodou systému Promotic Energ je otevřenost a přizpůsobivost požadavkům uživatele (odběratele).

Zavedením systému s vyhodnocením a archivací docílíme provozní optimalizace nákupu energií. Optimalizace přispívá ke snižování nákladů průmyslových podniků. V současné době je využívají podniky jako Biocel Paskov, RSM Chemacryl, a.s., Sokolov, DURA Automotive Systems Kopřivnice, OKD OKK, a.s. Ostrava, TOS Varnsdorf a mnoho dalších [20].

6 NÁVRH KONCOVÉHO MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE

Pro dálkové měření v energetice je důležitá správná volba koncového měřicího přístroje. Pokud pro použití v rozptýlené výrobě a spotřebě není možné vybrat žádný z dostupných přístrojů na trhu, přistupujeme k vlastnímu návrhu.

Nároky kladené na tento přístroj nemusí být příliš vysoké. Důležité je splnění dostatečné přesnosti, vzorkovací frekvence, šířky pásma, dynamického rozsahu, atd. Vzhledem k velkému počtu potřebných přístrojů pro nasazení v energetice musí být tento přístroj levný.

Přístroj by měl být navržen tak, aby mohl sledovat a zaznamenávat napětí, proud, účinník, frekvenci, výkon a práci. Velkým trendem je dnes možnost také sledovat harmonické složky a *THD* napětí i proudu v trojfázových sítích.

Správný návrh a simulace jsou velice důležité pro získání potřebných informací před zadáním do výroby. Při vývoji přístroje musíme stanovit přesné požadavky, kde ho chceme v síti provozovat a při jaké napěťové hladině (nn, vn, vvn).

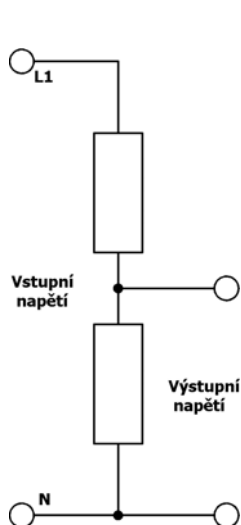
Dnes se konstruktéři přiklání spíše k modulárním systémům, které využívají výhod softwarového zpracování změřených dat, získaných pomocí měřicích modulů. Konečný návrh koncového měřicího přístroje nemusí být až tak složitý. Důležité je správné posouzení pro implementaci do stávajících systémů. Při návrhu se zaměřujeme na čtyři nejdůležitější části:

- měřicí část a převodník
- zpracování v mikroprocesoru
- software a popis funkcí algoritmů
- vlastnosti komunikace použitých sběrnic

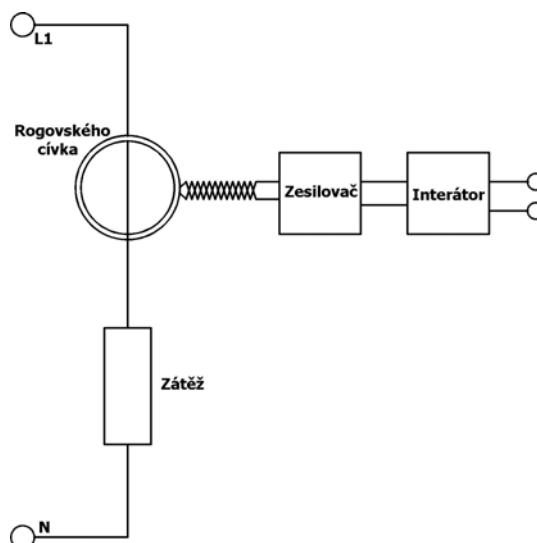
6.1 Návrh měřicí části koncového přístroje

Analogové signály je nutné před digitalizací upravit na požadovanou úroveň. Pro měření napětí použijeme napěťový dělič (obr. 6.1), kterým velikost upravíme na úroveň vhodnou pro A/D převodník, řádově stovky mV až jednotky V .

Pro měření proudu můžeme použít, např. Hallovu sondu nebo Rogowského cívku (obr. 6.2). Rogowského cívka je měřicí prvek, který měří změny proudu ve sledovaném vodiči díky indukovanému napětí. Princip je podobný jako u běžného transformátoru. Střídavý proud sledovaného vodiče vytváří kolem sebe střídavé magnetické pole, které způsobí indukci napětí ve vodiči toroidní vzduchové cívky. Výsledné napětí je tak úměrné změně magnetického toku a tedy hodnotě střídavého proudu, který ho vyvolal.



Obr. 6.1 Zapojení děliče napětí



Obr. 6.2 Zapojení Rogovského cívky

Z pohledu magnetického obvodu je cívka s měřeným vodičem spojena vzájemnou induktivní vazbou M . Výstupní napětí cívky je tak definováno následujícím vztahem (6.1) nebo vztahem (6.2) [22].

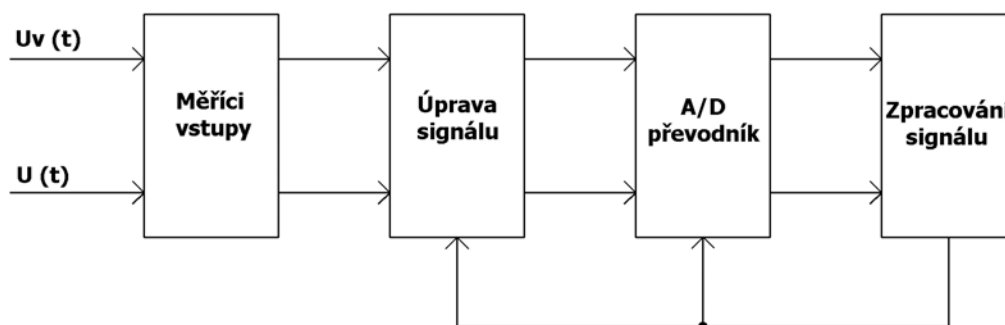
$$U_V = M \cdot \frac{di}{dt}, \quad (6.1)$$

$$U_V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot M, \quad (6.2)$$

kde U_V je výstupní napětí,
 M je vzájemná indukčnost,
 i je měřený proud,
 f je frekvence.

6.1.1 Filtr a převodník

Změřené úrovně musíme upravit pomocí dolní propusti (DP). Dolní propust propustí žádané kmitočty měřeného signálu a zadrží vysokofrekvenční složky signálu (šumy). Takto upravené signály můžeme pomocí A/D převodníku navzorkovat. Bloková vazba je vidět na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Blokový návrh měřicí části

Dolní propust je nastavena, aby propouštěla signály pod minimální hranici $2,5 \text{ kHz}$ (mezní kmitočet propusti je právě $2,5 \text{ kHz}$, což je kmitočet na kterém má propust útlum -3 dB). Minimální hranice $2,5 \text{ kHz}$ odpovídá padesáté harmonické průmyslového kmitočtu. Pokud chceme měřit rušení základní harmonické, volíme propust s vyšším mezním kmitočtem. Mezní kmitočet propusti pak volíme podle rychlosti A/D převodníku tak, aby u signálu s vyšším kmitočtem nevznikal aliasing efekt, jak bude vysvětleno dále.

Po analogovém předzpracování se signál přivede na vstup A/D převodníku. V bloku A/D dochází k digitalizaci analogového signálu. Takto získaný signál je pro nás matematickou posloupností. Přejít od analogových signálů k těmto posloupnostem se provádí operacemi nazvanými vzorkování v čase a kvantování v amplitudě.

Kvantování signálu v čase a problémy s ním spojené

Vzorkováním signálu v čase může dojít k nežádoucímu jevu – aliasingu. Aliasing vznikne při nedostatečném odebírání vzorků; tzv. frekvence odebírání vzorků není dostatečně velká v porovnání s maximální frekvencí průmyslového kmitočtu. Toto periodické (sekvenční) vzorkování má pevnou vzorkovací frekvenci. Vzorkovací frekvenci musíme nastavit tak, aby byla splněna podmínka, která určuje, kdy se při vzorkování signálu neztrácí informace. Podmínka se nazývá Shannon-Kotelnikovův vzorkovací teorém, který říká, že spojitý signál obsahující

pouze frekvenční složky s frekvencemi menšími než f_{\max} , může být ze vzorků jednoznačně rekonstruován jen tehdy, pokud je vzorkovací frekvence větší než dvojnásobek f_{\max} , jak je uvedeno ve vztahu (6.3).

$$f_{VZ} = 2 \cdot f_{\max} \quad (6.3)$$

Hraniční frekvence $f_{VZ}/2$ se nazývá Nyquistova frekvence. Podmínka ve vztahu (6.3) je pouze teoretickou hranicí. V praxi je nutné pro vzorkování použít čtyř nebo lépe vícenásobek maximální frekvence signálu.

Splněním vztahu (6.3) zajistíme buď dostatečně velkou vzorkovací frekvenci A/D převodníku nebo omezíme spektrum měřených frekvencí pomocí analogového filtru (DP), který se u tohoto zapojení nazývá antialiasingový filtr [23].

Kvantování signálu v amplitudě

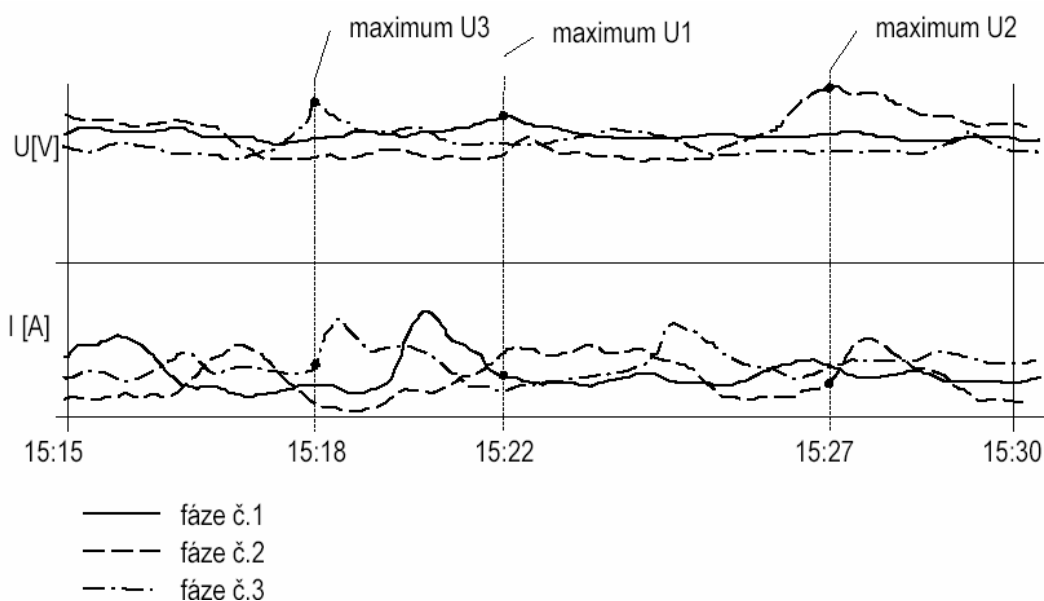
Druhou operací, která při vzorkování probíhá, je kvantování signálu v amplitudě. Pokud chceme například vzorkovat (sampler) napětí $0 \div 230 \text{ V}$ s přesností na $0,5 \%$, pak musíme podle vztahu (6.4) vybrat 8-bitový převodník. Pro přesnost $0,5\%$ z 230V je potřeba nejméně 200 úrovní, nejbližší vyšší počet úrovní (256) má 8-bitový A/D převodník.

$$\frac{U}{2^n - 1}, \quad (6.4)$$

kde n je počet bitů.

6.1.2 Řezové vzorkování

Při řezovém vzorkování musíme určit řídící veličinu řezu. Zpravidla se řídící veličina řezu nastavuje na jeden z extrémů (maximum nebo minimum) měřené veličiny. Vzorkování ostatních fázových veličin je v tomto případě určeno okamžikem výskytu nastaveného extrému zvolené řídící veličiny ve fázi, jak je vidět na obr. 6.4.



Obr. 6.4 Vzorkování dle maxima napětí [24]

Jako řídící veličiny řezu lze zvolit:

- napětí
- proud
- účinník
- činný fázový výkon
- činný trojfázový výkon

Když je řídící veličina řezu napětí, proud nebo účinník, volíme ukládání dle maxima nebo minima této řídící veličiny. Pokud je řídící veličinou výkon, provádí se ukládání veličin v okamžiku zjištění maxima tohoto výkonu.

Na obr. 6.4 je vidět příklad měření vývodů všech tří fází. Při nastavení vzorkování „dle extrému napětí“ a volbě maxima této veličiny se zaznamenají na konci záznamového intervalu (v 15:30) následující hodnoty [24] :

- maximální hodnota napětí U_{1max} v průběhu celého záznamového intervalu, změřená v 15:22 a hodnoty I_1 a \cos_1 v tomto okamžiku
- maximální hodnota napětí U_{2max} v průběhu celého záznamového intervalu, změřená v 15:27 a hodnoty I_2 a \cos_2 v tomto okamžiku
- maximální hodnota napětí U_{3max} v průběhu celého záznamového intervalu, změřená v 15:18 a hodnoty I_3 a \cos_3 v tomto okamžiku

Při řezovém ukládání je tedy zajištěno, že všechny veličiny jedné fáze jsou vzorkovány ve stejném okamžiku. Lze z nich tedy spočítat jednofázové výkony. Okamžik vzorkování může být v jednotlivých fázích různý, a proto trojfázový výkon počítat nelze. Pokud je řídící veličinou trojfázový výkon, jsou vzorkovány všechny fázové veličiny všech fází ve stejný okamžik a je možné provádět výpočet trojfázového výkonu.

Frekvence a průměrný výkon nejsou nijak ovlivněny řezovým vzorkováním a ukládají se nezávisle podle zvoleného nastavení.

6.2 Zpracování v mikroprocesoru

Mikroprocesor:

- musí být dostatečně rychlý, aby byl schopen zpracovávat úrovně napětí a proudů ze všech fází *on-line*
- zprostředkovává obousměrnou komunikaci přes sběrnici
- ukládá změřené úrovně do paměti
- provádí výpočty dle požadavků na měřené místo
- zpracovává údaje a spolu s aktuální cenou je zobrazí na LCD displej.

Získané okamžité hodnoty každé veličiny může přístroj zobrazit na displeji a také dále zpracovávat podle nastaveného způsobu záznamu. Hodnotu veličiny během intervalu záznamu průměruje nebo zaznamenává maximální, resp. minimální hodnotu, případně poslední změřenou hodnotu. Na konci záznamového intervalu pak tuto hodnotu uloží do paměti EEPROM.

Po zaplnění kapacity paměti zaznamenanými průběhy se začne přístroj chovat podle programu. Program říká, že pokud není zvolen režim cyklický záznam, tak po zaplnění paměťové kapacity přestane přístroj provádět další záznamy až do doby, kdy bude znovu nastaven nebo kdy tuto informaci vzdáleně odešle. V opačném případě záznam pokračuje s tím, že nově naměřené hodnoty přemazávají nejstarší zaznamenané hodnoty. Přístroj tak obsahuje „nejčerstvější“ průběh zvolených veličin, jehož délka odpovídá paměťové kapacitě přístroje.

6.3 Popis funkcí návrhu

Mikroprocesor je naprogramován a vykonává různé matematické funkce:

- měří napětí
- měří proud
- měří elektrickou práci
- vyhodnocuje fázové výkony
- vyhodnocuje trojfázové výkony
- vyhodnocuje účinník
- vyhodnocuje harmonické zkreslení (*THD*) a podíl vyšších harmonických složek
- vyhodnocuje maximální čtvrt hodinová maxima průměrných činných výkonů
- vyhodnocuje diagramy zatížení

6.3.1 Měření napětí

Při měření napětí by měl přístroj ze změřených vzorků počítat skutečnou efektivní hodnotu True RMS. Při měření předpokládáme, že budeme měřit signál s dominantní základní harmonickou 50 Hz. Pro upřesnění se frekvence základní harmonické bude pohybovat v rozmezí $\pm 0,1 \%$. Nepřesnost kmitočtu $\pm 1 \%$ způsobí nepřesnost výpočtu efektivní hodnoty v rozmezí maximálně $\pm 5 \%$ na zvolené okno 200 ms.

Při měření napětí budeme vycházet z *tabulky 4-1*, kde je řečeno, že přístroj by měl měřit signál z deseti po sobě následujících period ($10 \cdot 20 = 200 \text{ ms}$). Každou periodu bude vzorkovat 1000 vzorky, aby chyba způsobená diskretizací byla co nejmenší. Z těchto deseti period pak musí vypočítat aritmetický průměr a pomocí něj určit efektivní hodnotu napětí podle *vztahu (6.5)*[24].

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2} \quad (6.5)$$

kde U_{ef} je efektivní hodnota napětí,
 U_i je naměřený vzorek napětí.

6.3.2 Měření proudu

Při měření proudu se také bude měřit True RMS podobně jako v kapitole (6.3.1). Z Rogovského cívky získáme napěťový signál, který musíme, jak je vidět na *obr. 6.2*, zesílit zesilovačem. Po zesílení signálu jej musíme integrovat (di/dt), protože je oproti napětí posunut o 90° . Rogovského cívka musí být velmi citlivá a přesná, což zajistíme její výrobou přímo na rozměry MM.

6.3.3 Měření elektrické práce

Po změření efektivní hodnoty proudu I_{ef} a napětí U_{ef} za čas t není problém vypočítat elektrickou práci. Elektrickou práci vypočteme podle *vztahu (6.6)*.

$$W_e = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot t \quad (6.6)$$

Pomocí obousměrné komunikace lze nastavovat současné tarifní pásmo odběratele. Po dálkovém nastavení současného tarifního pásma lze na displeji sledovat pouze souhrnný údaj odběru za celé období, bez ohledu na tarifní pásmo. Odběry v jednotlivých pásmech jsou přepočítány na požadovanou měnu, kterou můžeme také sledovat na LCD hned pod souhrnným údajem odběru.

6.3.4 Vyhodnocení fázových výkonů

Pomocí vztahu (6.7) můžeme v přístroji vyhodnocovat skutečný činný výkon [24].

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \cdot I_i, \quad (6.7)$$

kde P je činný výkon,

U_i je naměřený vzorek napětí,

I_i je naměřený vzorek proudu.

Do vyhodnocení tedy zahrnuji 1000 vzorků za periodu, což je celkem 2000 vzorků napětí a proudu. Pokud je výsledná hodnota kladná, tak se jedná o odběr (import) a pokud je záporná, tak o dodávku (export). Záporná může být při toku opačným směrem. Opačný směr toku může také nastat při opačném zapojení proudových svorek.

Vztahem (6.8) vyhodnotíme zdánlivý výkon při změřených efektivních hodnotách napětí a proudu.

$$S = U_{ef} \cdot I_{ef} \quad (6.8)$$

Pomocí vztahu (6.9) můžeme vyhodnotit jalový výkon. Jalový výkon je dán z činného výkonu P ze vztahu (6.7) a zdánlivého výkonu S ze vztahu (6.8). Hodnota jalového výkonu musí být doplněna znaménky nebo indexy L , C podle charakteru jaloviny. Induktivní L nebo kapacitní C charakter rozlišíme podle fázového rozdílu základních harmonických složek napětí a proudu.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6.9)$$

kde Q je jalový výkon,

S je zdánlivý výkon,

P je činný výkon.

6.3.5 Vyhodnocení trojfázových výkonů

Koncový přístroj trojfázové výkony vyhodnocuje součtem jednotlivých fázových výkonů. Jednotlivé fázové výkony získáme použitím vztahu (6.7). Pro celkový trojfázový činný výkon $3P$ platí vztah (6.10).

$$3P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (6.10)$$

kde $3P$ je trojfázový činný výkon,

P_1 , P_2 , P_3 jsou jednotlivé jednofázové činné výkony.

U jalových výkonů platí to samé jako u činných výkonů. Do uvedeného součtu ve vztahu (6.11) použijeme jednotlivé fázové výkony včetně znamének (odběry kladné, dodávky záporné). Jalový výkon může mít induktivní nebo kapacitní charakter, kde bereme v úvahu znaménka + nebo - . Opačné hodnoty jednotlivých výkonů se od sebe odčítají.

$$3Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (6.11)$$

kde $3Q$ je trojfázový jalový výkon,

Q_1 , Q_2 , Q_3 jsou jednotlivé jednofázové činné výkony.

Pro trojfázový zdánlivý výkon platí vztah (6.12).

$$3S = \sqrt{3P^2 + 3Q^2}, \quad (6.12)$$

kde $3S$ je trojfázový zdánlivý výkon,

$3P$ je trojfázový činný výkon,

$3Q$ je trojfázový jalový výkon.

6.3.6 Vyhodnocení účinníku

Přístroj by měl vyhodnocovat skutečný účinník PF (Power Factor). PF by se měl vyhodnocovat nejen pro jednotlivé fáze, ale i pro základní harmonickou složku $\cos\varphi$. Skutečný fázový účinník můžeme vyhodnotit z poměru činného výkonu získaného ze vztahu (6.7) a zdánlivého výkonu ze vztahu (6.8) jak je uvedeno ve vztahu (6.13).

$$PF = \frac{|P|}{S}, \quad (6.13)$$

kde PF je skutečný účinník,

P je činný výkon,

S je zdánlivý výkon.

Tento skutečný fázový účinník PF vyhodnotíme podle fázového rozdílu základních harmonických složek napětí a proudu a vyjádříme tak induktivní nebo kapacitní charakter jalového výkonu. Pro celkový trojfázový výkon $3PF$ lze pak napsat vztah (6.14).

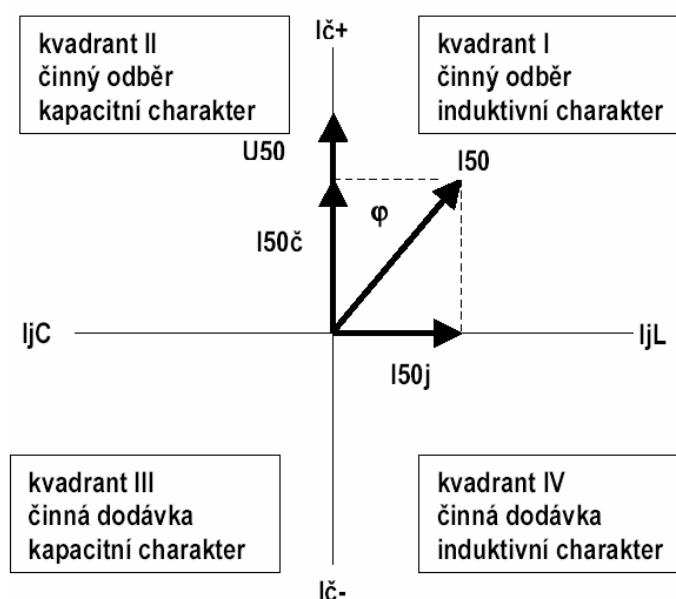
$$3PF = \frac{|3P|}{3S}, \quad (6.14)$$

kde $3PF$ je skutečný trojfázový účinník,

P je trojfázový činný výkon,

S je trojfázový zdánlivý výkon.

Kromě skutečného účinníku pro jednotlivé fáze můžeme vyhodnocovat pomocí Fourierovy transformace účinník základní harmonické složky $\cos\varphi$. $\cos\varphi$ obsahuje rozlišení L nebo C , a to podle charakteru naměřeného jalového výkonu. Jalový výkon může být induktivního nebo kapacitního charakteru a vyhodnocujeme jej čtyř-kvadrantově, jak je vidět na obr. 6.5 [24].



Obr. 6.5 Identifikace odběru-dodávky a charakteru jalového proudu podle fáz. posuvu [24]

6.3.7 Vyhodnocení harmonického zkreslení (*THD*) a vyšších harmonických složek

Změřením průběhů napětí a proudů je možné vyhodnotit pomocí FFT jednotlivé relativní harmonické složky až do našeho zvoleného řádu $50h$ (vyhodnocené h_{Ii} a h_{Ui} z absolutních amplitud harmonických složek H_{Ii} a H_{Ui} jako poměru H_{Ii} / H_{I1} a H_{Ui} / H_{U1}). Ze získaných složek vypočítáme hodnotu harmonického zkreslení dle vztahů (6.15) a (6.16) [24].

$$THD_U = \sqrt{\sum_{i=2}^{50} h_{Ui}^2}, \quad (6.15)$$

$$THD_I = \sqrt{\sum_{i=2}^{50} h_{Ii}^2}, \quad (6.16)$$

kde THD_U je celkové harmonické zkreslení napětí,
 h_{Ui} je i -tá relativní harmonická složka napětí (vztažená k hodnotě základní harmonické složky H_{U1} , i = řád harmonické),
 THD_I je celkové harmonické zkreslení proudu,
 h_{Ii} je i -tá relativní harmonická složka proudu.

6.3.8 Vyhodnocení ¼ hodinových maxim průměrných činných výkonů

Přístroj může zobrazovat maximální průměrné čtvrt hodinové hodnoty trojfázového činného výkonu za sledované období ($\frac{1}{4} hPm$). Umožní mu to obvod reálného času (RTC), který k dá každou čtvrt hodinu povel k vyhodnocení průběžných průměrných činných výkonů. Pokud je průměrný činný výkon v měřeném vývodu za uplynulou čtvrt hodinu vyšší než předchozí zaznamenaná maximální hodnota, nahradí se tato hodnota nově naměřenou maximální hodnotou. Při zaznamenávání této hodnoty se také zaznamená datum a čas, kdy byla naměřena.

6.3.9 Vyhodnocení diagramů zatížení

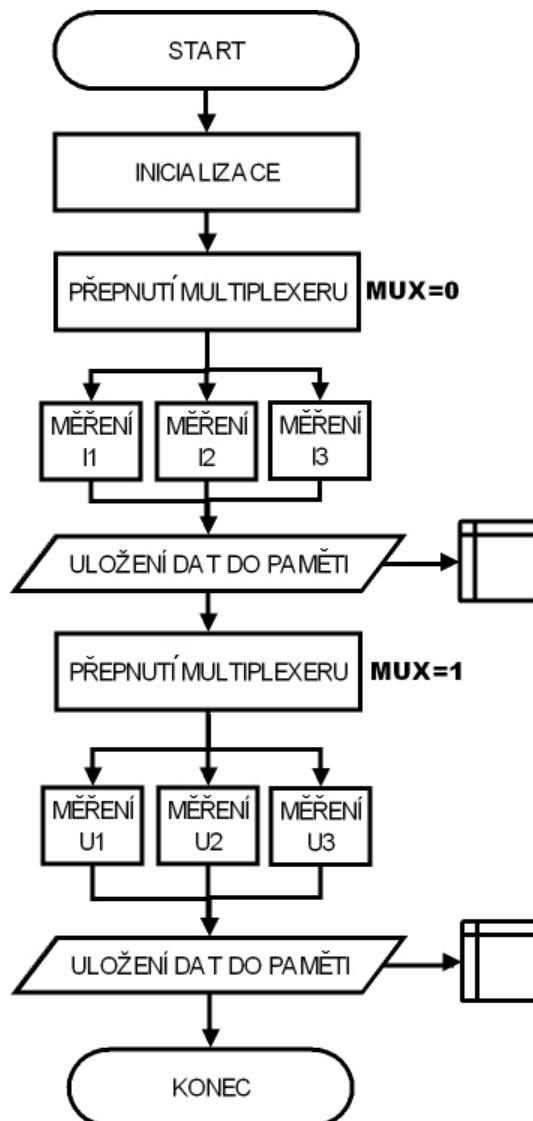
Chceme-li provést kontrolu zatížení měřeného uzlu, není nutné vyhodnocovat celý souvislý záznam za sledované období, ale stačí nám denní, týdenní nebo měsíční diagram zatížení. Tento diagram zatížení je záznam elektrických veličin napětí, proudů a účinníku (PF) za určitý časový úsek s větším odstupem záznamu (minuta, hodina, týden). Nastavení intervalu pro tyto diagramy zatížení je do vyhodnocení pevné a nelze ho měnit. Nastavený den, týden nebo měsíc je možné pomocí sběrnice přenést centrálně do PC, kde je vyhodnocen.

6.4 Měřicí a vyhodnocovací algoritmy

Při návrhu je důležité si vytvořit příslušný měřicí a vyhodnocovací algoritmus. Algoritmy vyjadřují posloupnosti konečného počtu elementárních kroků vedoucí k vyřešení úlohy.

6.4.1 Měřicí algoritmus

Na *obr. 6.6* je měřicí algoritmus, který po startu začne inicializovat. Inicializace zahrnuje, nulování, nastavení A/D převodníku a připojení referenčního napětí. Dále jsou tam bloky pro přepínání multiplexeru. Například v $MUX = 0$ měříme proud a v $MUX = 1$ měříme napětí. Po změření proudu a napětí následuje uložení do paměti a konec algoritmu.

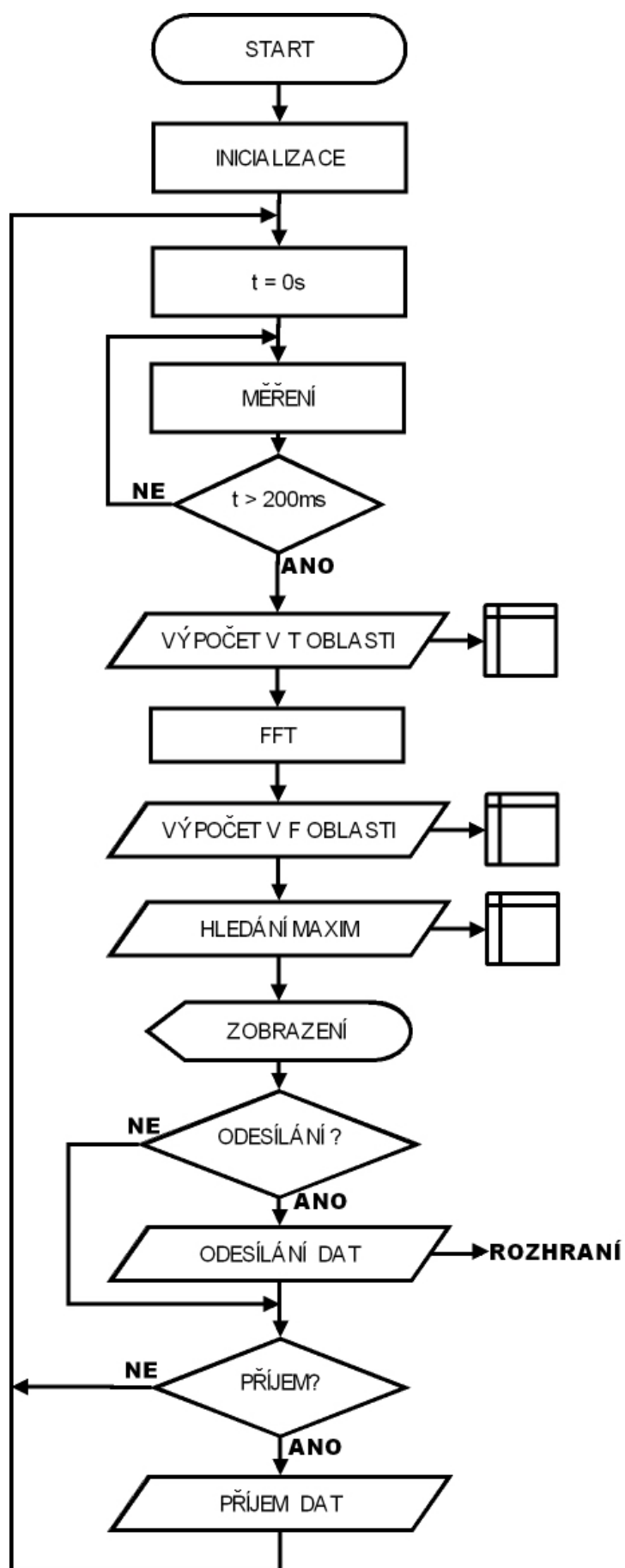


Obr. 6.6 Měřicí algoritmus

6.4.2 Vyhodnocovací algoritmus

Na obr. 6.7 je zobrazen vyhodnocovací (řídící) algoritmus, který po startu začne také provádět inicializaci podobně jako měřicí algoritmus. Inicializace v tomto algoritmu zahrnuje reset procesoru, nulování proměnných, načtení konfigurace z paměti a načtení dat ze sítě (uplatnění obousměrné komunikace).

Dále následuje blok $t = 0$, který nuluje čas a začne jej odměřovat, například okno 200 ms. Po bloku $t = 0$ následuje blok měření, který se řídí podle měřicího algoritmu. Nyní následuje blok rozhodovací, kde se rozhoduje jestli $t > 200 \text{ ms}$. Pokud ne tak se vracíme před blok měření, a pokud je podmínka $t > 200 \text{ ms}$ splněna, přejde se k výpočtům v časové oblasti. Tento blok zahrnuje výpočty podle kapitoly (6.3) a ukládá data do vnitřní paměti přístroje. Dále následuje třeba blok FFT jehož vlastnosti jsou popsány v kapitole (7.2) harmonické analýzy. Po bloku FFT následuje blok výpočtu ve frekvenční oblasti. Tento blok může zahrnovat výpočet THD, podílu vyšších harmonických a frekvence respektive její kolísání. Po výpočtu ukládá tato data do vnitřní paměti. Dále může být zařazen blok pro nalezení maxima s ukládáním do vnitřní paměti, který popisuje kapitola (6.1.2) řezového vzorkování. Nyní můžeme přistoupit k zobrazení dat na LCD, kde vidíme například aktuální odebíraný výkon, celkovou spotřebu a aktuální cenu. Následující rozhodovací blok je na odesílání dat po síti. Tento blok reaguje na podmínku podnětu ze sítě. Pokud přijde podnět, jsou uložená data přes rozhraní odeslána. Pokud ne, tak stejně jako po odeslání dat následuje rozhodovací blok příjmu. V tomto bloku program zjišťuje zdali není systém adresován centrálním počítačem. K tomu dochází tehdy, pokud mají být do přístroje přenesena data z vnějšku.

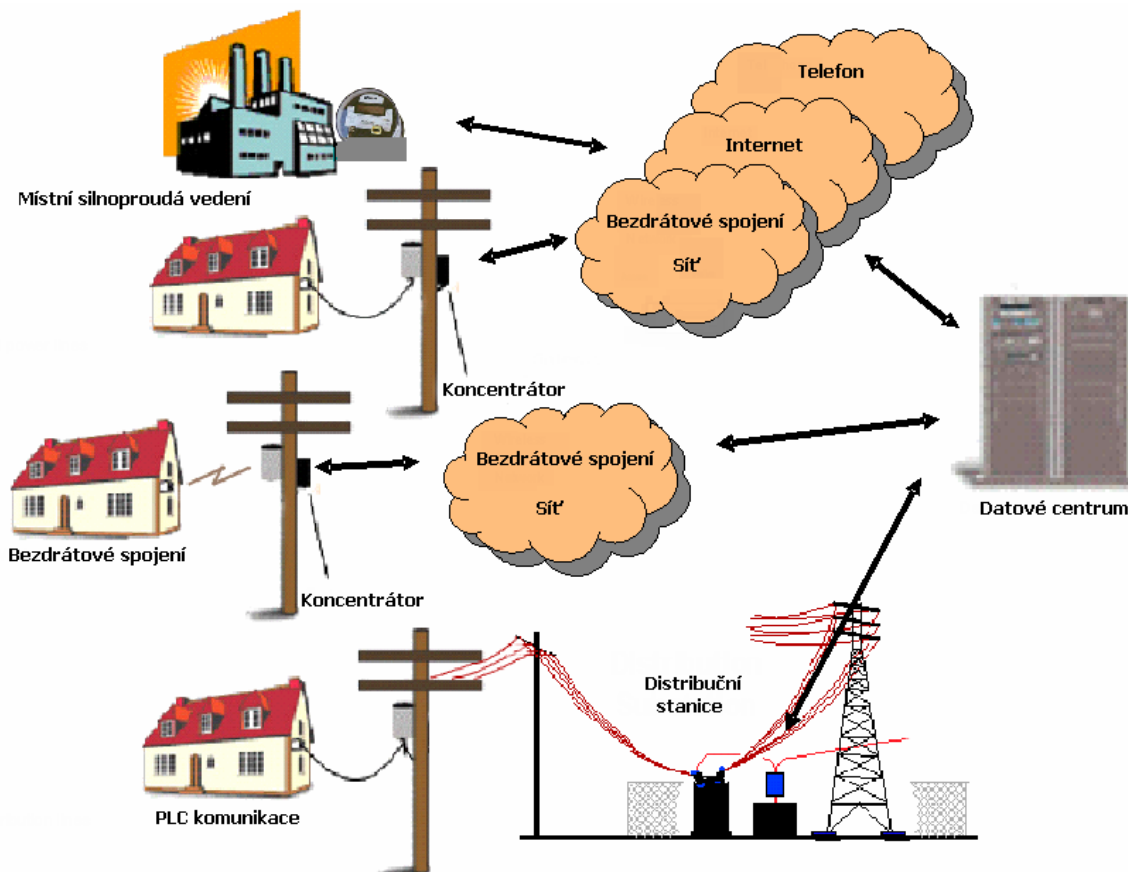


Obr. 6.7 Vyhodnocovací (řídící) algoritmus

6.5 Vlastnosti komunikace použitých sběrnic

Hlavním cílem je podat dálkově informaci o změřených datech v žádaném formátu na požadovanou vzdálenost. Na *obr. 6.8* je ukázka připojení koncového přístroje ke koncentrátoru dat a ukázka přenosu po vedení pomocí PLC nebo jiných dálkových možnostech přenosu dat.

Volba sběrnice je velice důležitá, jelikož správnou volbou rozhodujeme o vzdálenosti přenosu změřených dat. Podle typu jednotlivých rozhraní dáváme do určité vzdálenosti koncentrátor dat, kde dochází k dalšímu směrování do datového centra.



Obr. 6.8 Ukázka připojení a komunikace [25]

6.5.1 Metalické připojení

Koncový přístroj by měl být standardně vybaven sériovým rozhraním (například RS-232), aby bylo možné nastavit parametry přístroje pomocí přenosného počítače. K rozhraní RS-232 může být připojen pouze jediný přístroj a délka komunikačního kabelu by neměla přesahovat pro rychlost 19200 Bd 15 metrů. Přístroje mohou být přes toto rozhraní připojeny rovněž prostřednictvím modemu. Vzdálenost a počet připojitelných přístrojů se pak zvětšuje.

Pro dálkovou komunikaci (REMOTE) musíme využít dálkovou komunikační linku. Pomocí této linky mohou být přístroje monitorovány a ovládány z nadřazeného systému. Dálková komunikační linka je galvanicky oddělená od vnitřních obvodů přístroje a typ rozhraní může být například RS-485. K rozhraní RS-485 může být připojeno až 32 přístrojů na vzdálenost maximálně 1200 m. Při instalaci je přístroji přidělena adresa, podle které je v síti jednoznačně identifikován. Adresy jednotlivých přístrojů jsou v intervalu 1 až 253.

Další možností je použití rozhraní CAN-BUS, které nám umožňuje vysokorychlostní připojení přístroje. CAN-BUS je vhodné použít při přenosu aktuálních naměřených hodnot dat s rychlostí 100 kbit/s do vzdálenosti 500 m. K tomuto rozhraní může být připojeno až 110

přístrojů. Jednotlivé přístroje využívají různou komunikační adresu v intervalu 1 až 1023, nastavenou při instalaci.

6.5.2 Nové možnosti PLC připojení

Pro přenos změřených dat po elektrickém vedení je možnost využití PLC komunikace. V České republice završila tuzemská firma ModemTec úspěšný vývoj PLC modemů pro komunikaci po elektrickém vedení. PLC modemy jsou primárně určeny pro dálkový odečet energií měřičů vybavených průmyslovou datovou sběrnicí *M-BUS*. Parametry *M-BUS* jsou již popsány v kapitole (3.3). Tato sběrnice umožňuje měření a sběr dat, regulaci a dálkové ovládání. Je tedy nejvhodnější pro obousměrnou komunikaci mezi datovým centrem a koncovým přístrojem.

Přenos přímo po elektrické síti je pro měření, řízení a regulaci nejlepší alternativou, protože nemusíme nákladně instalovat metalická vedení. Nevýhodou je, že v silně zarušených sítích je nutné využít nějaké jiné možné komunikační linky, jako například GPRS nebo *RF*. ModemTec oznámila, že úspěšně dokončila vývoj modemů, které jsou schopny spolehlivě přenášet data i ve velmi zarušeném průmyslovém prostředí, a to mezi vybavenými sběrnici *RS-232* a *RS-485*. Data lze přitom bezpečně přenášet po standardní 230 V elektrické síti až do vzdálenosti několika kilometrů, čímž odpadá právě nákladná instalace strukturované kabeláže [26].

ModemTec vyvinula moduly MT23R a MT23MB. Modul MT23R je určen pro přenosy dat po rozvodné síti o napěťové hladině 230 V a průmyslovém kmitočtu 50 Hz. Slouží jako článek na přenos ze sériové linky *RS-232* nebo *RS-485* z modemu na jinou sběrnici *RS-232*, *RS-485* prostřednictvím dalšího či dalších modulů MT23R. Modul je pak velice vhodné využít pro sběr dat z datových elektroměrů. Výrobce uvádí, že je možné i ve velmi nepříznivých průmyslových podmínkách využít tyto moduly, které se vyznačují 100 % spolehlivostí datových přenosů. Nosná frekvence komunikačních modemů je dána normou [21]. Norma přesně definuje rozdělování kmitočtů od 3 do 150 kHz na pásma. MT23R je navržen s malou šířkou modulačního pásma a přijímačem s velkou selektivitou. Pro zlepšení přenosu jsou u modemů použity postupy jako korektor chyb, kontrolní součty a automatické opakování vysílání.

Modul MT23MB je primárně určen pro dálkové odečty tepla, vody, plynu a elektrické energie u všech zařízení, které obsahují průmyslovou datovou sběrnici *M-BUS*. Sběrnice *M-BUS* představuje evropský standard pomocí kterého můžeme přenášet informace o odběrech různých druhů energie po napájecí síti 230 V.

ModemTec uvádí, že moduly mezi sebou komunikují ve dvou režimech. Prvním je dotaz – odpověď, kdy si nadřazený systém pomocí adresování (volbou adresy) určí koncový modul, se kterým chce komunikovat, a obratem obdrží odpověď. Druhý je pomocí vlastností koncových modulů, které obsahují RTC a lze je naprogramovat pro odečet měřené veličiny v určeném čase a MM. Odečtený údaj je spolu s časovou značkou uložen do paměti modulu a posléze přenesen do nadřazeného systému v podobě potvrzených odpovědí [26]. Toto řešení dovoluje uskutečnit hromadný odečet stavu koncových přístrojů v jednom okamžiku.

6.5.3 Bezdrátové připojení

Další možností připojení je bezdrátově pomocí *RF* komunikace. *RF* komunikace dnes zahrnuje velké množství standardů poskytujících různou schopnost síťové komunikace na různé vzdálenosti. Nabízí možnosti zabezpečení přenosu dat proti nechtěnému rušení nebo neoprávněnému přečtení. *RF* komunikace je určena pro bezdrátový přenos dat mezi koncovým přístrojem a koncentrátorem dat, jak je vidět na obr. 6.8. Novinkou na trhu je *RF* komunikace *ZigBee*, která je vhodná pro hromadné použití v energetice. Pracuje podobně jako *Bluetooth*, který je určen pro přenosy na krátké vzdálenosti (řádově do několika metrů) nebo *WiFi* pro rychlý přenos dat stovky metrů. *ZigBee* se začíná používat v průmyslových aplikacích, kde se zatím bezdrátový přenos moc nevyužíval, nebo jen v jednoduché podobě komunikace zařízení - zařízení (*point-to-point*) jako přímá náhrada propojovacího kabelu. *WiFi* technologie

nevyužíváme, protože se vyznačují značně velkou spotřebou elektrické energie a složitostí. Pro srovnání je v *tabulce 6-1* ZigBee porovnána s jinými známými přenosovými bezdrátovými RF standardy. Radiový přenos blíže specifikuje norma [28].

Tab. 6-1 Porovnání RF standardů pro přenos [27]

Obchodní jméno Standard	GPRS/GMS 1xRTT/CDMA	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1	ZigBee™ 802.15.4
Aplikační Zaměření	Široké oblasti Hlas&Data	Web, Email, Video	Náhrada za kabel	Monitorování & Řízení
Systémové zdroje (paměť)	16MB a více	1MB a více	250KB a více	4KB-32KB
Životnost baterií (dny)	1 - 7	0,5 - 5	1 - 7	100 - 1 000 i více
Max. velikost sítě (počet uzlů/sítě)	1	32	7	65 000 (příp. až 2 ⁶⁴)
Přenosová rychlost (Kb/s)	64 - 128	11 000	720	20 - 250
Komunikační dosah (m)	1 000 i více	1 - 100	1 - 10	1 - 100
Výhody	Dosažitelnost, Kvalita	Rychlost, Flexibilita	Cena, Jednoduchost	Spolehlivost, Výkon/Cena

6.6 Celkový návrh koncového měřicího přístroje

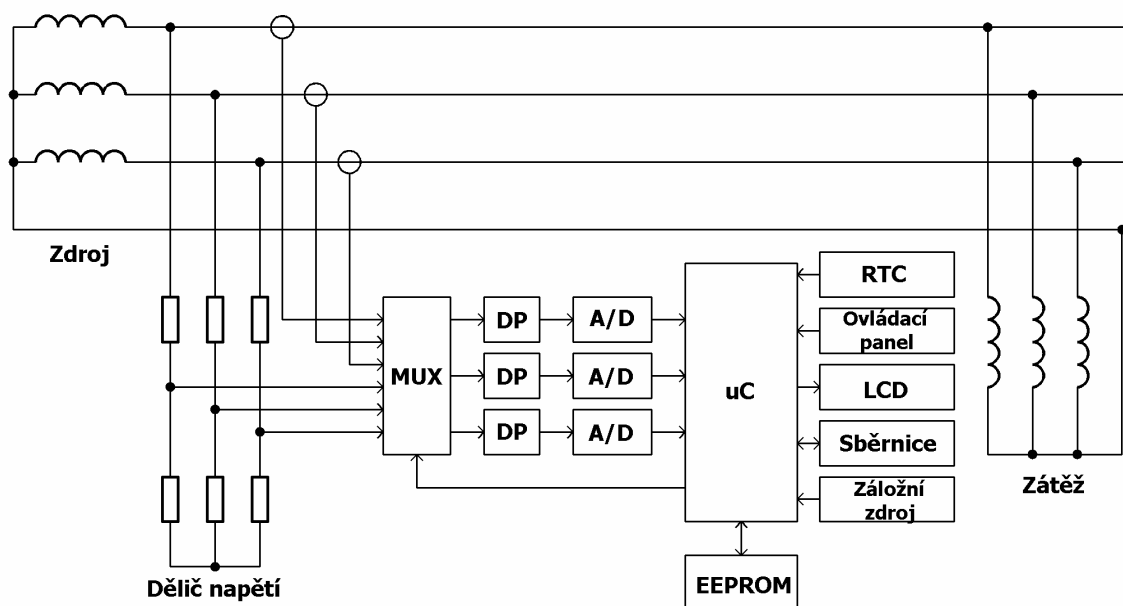
Na *obr. 6.9* máme celkový blokový návrh koncového přístroje, kterým chceme měřit periodické signály. Periodické signály jsou složeny z harmonických signálů o frekvencích, které jsou celistvým násobkem jedné základní frekvence. Základní frekvencí je průmyslový kmitočet 50 Hz. Uvažujeme, že se jedná o deterministické signály, jejichž časový vývoj odpovídá určitému funkčnímu předpisu. Funkčním předpisem pro nás bude *vztah (5.1)*.

Změřené úrovně signálů jsou přivedeny do multiplexeru MUX. Multiplexer je ovládán pomocí výběrových vodičů z mikroprocesoru (μC), který si volí mezi měřením napětí a proudu dle aktuálního programu. V programu jsou přesně určeny časové úseky vstupů jednotlivých kanálů. Za multiplexerem jsou DP a A/D převodníky, jak bylo popsáno v *kapitole (6.1.1)*. Takto digitalizovaný signál je přiveden do mikroprocesoru, kde je zpracován podle atributů programu, jak je uvedeno v *kapitole (6.3)*.

Koncový přístroj musí být vybaven akumulátorem nebo baterií pro zálohování vnitřní paměti (v případě výpadku komunikace nebo napájení). Záložním zdrojem předejdeme ztrátě naměřených dat. Po obnovení komunikace mohou být tato data zpětně dočtena a nedojde k jejich ztrátě.

Obvod reálného času umožňuje registraci naměřených dat, která mohou být prostřednictvím místní komunikační linky RS-232 nebo dálkové komunikační linky (RS-485, CAN-BUS, M-BUS) přenesena, vizualizována a dále zpracována v datovém centru.

Pomocí vestavěné klávesnice (ovládacího panelu) a LCD displeje lze nastavit základní parametry přístroje. Přístroj tak lze používat jako multifunkční panelové měřidlo bez použití počítače.



Obr. 6.9 Blokový návrh celého koncového přístroje

Velice zajímavé řešení na trhu přináší firma Teridian, která má integrované řešení v jednom čipu *SoC*, jak je vidět na obr. 6.10. Integrací systémů na jeden čip dojde ke zjednodušení a tedy i zlevnění celého přístroje. Teridian nabízí různé produkty řady 71M65xx pro měření, indikaci a regulaci spotřeby elektrické energie (Power Measurement, Metering & Control).



Obr. 6.10 Obvody pro měření elektrické spotřeby [30]

6.6.1 Obvody řady 71M65xx

Tato řada je určena pro měření spotřeby elektrické energie a využívá patentovanou firemní technologii Single Converter TechnologyTM, která dosahuje přesnosti měření až $0,1 \text{ Wh}$. Řada zahrnuje tři druhy měření spotřeby [29]:

- Jednofázové měření obvody 71M6511 a 71M6521
- Třífázové měření obvodem 71M6523
- Polyfázové měření obvody 71M6513 a 71M6515

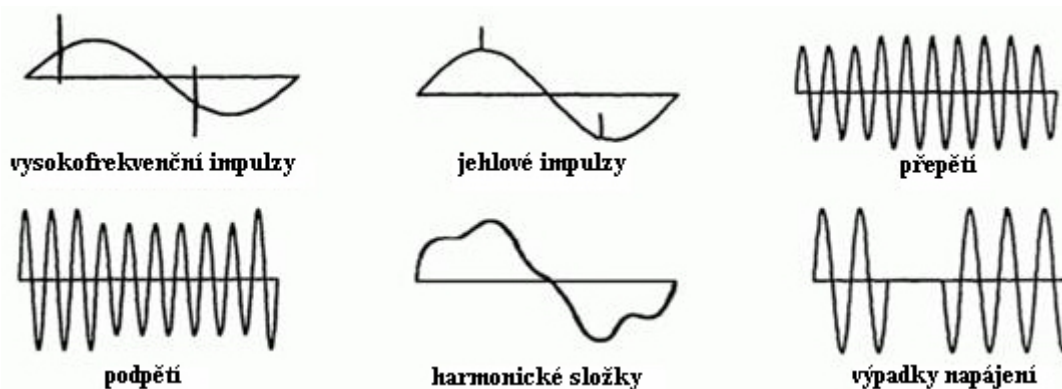
Obvody se mezi sebou liší hlavně počtem galvanicky oddělených analogových měřících vstupů. Každý obvod je vybaven stejným měřicím jádrem a periferiemi integrovanými ve společném pouzdře. Měřicí jádro je 32-bitový čip, který je pro externí komunikaci a řízení vybaven 8-bitovým 5 MHz MPU 80515. V této kombinaci s 22-bitovým delta-sigma A/D převodníkem, RAM a Flash pamětí, MPU časovači a teplotně kompenzovaným obvodem RTC umožní přesné měření, rychlou digitalizaci a výpočet všech požadovaných hodnot, jak je uvedeno v kapitole(6.3).

7 MĚŘÍCÍ SYSTÉMY PRO MALÉ ELEKTRÁRNY VE VÝROBĚ

Měřením koncovými digitálními přístroji v nadřazených měřicích systémech v energetice přineseme vzdáleně ucelenou informaci o spotřebě v síti, ale i o charakteru zátěže. Elektrárny jsou zatěžovány periodickými spojitými rušivými signály. Z těchto signálů jsou nejdůležitější vyšší harmonické složky kmitočtu napájecí sítě 50 Hz , které jsou často produkovány již samotnými generátory při výrobě elektrické energie. Takto vzniklé vyšší harmonické složky vyvolávají na nelineárních impedancích sítě (např. na transformátorech s nelineární magnetickou charakteristikou) vznik dalších harmonických složek. Největší průmyslové zdroje tohoto rušení jsou řízené polovodičové měniče velkých výkonů, které produkují v napájecí síti harmonické kmitočty až do 30 MHz [31].

7.1 Deformace napájecího napětí

Rušivá napětí v napájecí energetické síti mají řadu podob a projevují se různými způsoby deformace harmonického napájecího napětí 50 Hz . Názorné případy deformace napájecího napětí jsou na *obr. 7.1* [31].



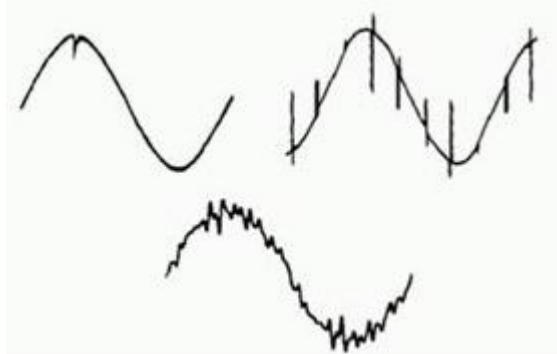
Obr. 7.1 Projevy rušivých signálů v napájecím napětí [31]

Pomocí vzdálených měřicích systémů můžeme v napájecích energetických sítích měřit řady přechodových jevů (například rušivých napětí) spojených se spínacími nebo rozpínacími pochody mechanických či elektrických spínačů.

V elektrických sítích vn a vvn dochází k vf oscilacím, které vznikají při zapínání vlivem kapacity a indukčnosti spínaných vedení. Vzniklé tlumené oscilace mohou dosáhnout kmitočtu až několika MHz o velikosti několika kV a době trvání obvykle pětinasobku až desetinásobku své periody. Tlumené oscilace s vysokým kmitočtem se snadno šíří kapacitními vazbami do sítí nízkého nn, kde se nám mohou při měření projevit.

Rušení v napájecích sítích nn vzniká také při využívání stykačů, jističů a mechanických relé. Tyto prvky sítě vytváří přechodové jevy při rozpojování obvodů obsahující indukčnost. Indukčnost zapůsobí v okamžiku rozpojení kontaktů, kdy při rychlé změně (přerušení) proudu di/dt vznikne vysoké rušivé napětí $u = -L \cdot di/dt$. Toto napětí mezi kontakty spínače vyvolá obloukový výboj. Po zapálení oblouku napětí na kontaktech klesá skokem k nule a výboj zhasne. Mezi kontakty dochází opět k nárůstu napětí, a pokud jeho velikost opět překročí průraznou hodnotu vzduchu, dochází znovu k zapálení oblouku. Zapálení také závisí na velikosti rozpojovaného napětí, na rychlosti rozpojení a na velikosti indukčnosti celého obvodu. Oblouk se tedy může několikrát za sebou zapálit, což vyvolá velmi strmé impulsy s krátkou náběžnou hranou několika ns , ale s napětím řádově několik kV . Tento vzniklý pilový průběh je vidět na prvních dvou průbězích napětí na *obr. 7.1*.

S rozvojem polovodičů, které souvisí se spínacími pochody, vzniká v sítích nn další rušení. Rušení vzniká především na diodových usměrňovačích a systémech s tyristorovým řízením výkonových zařízení, například tramvají, trolejbusů, lokomotiv, ale i při tyristorové regulaci otáček velkých motorů, například u výtahů a podobných zařízení. Při funkci těchto polovodičových zařízení dochází ke spínání velkých proudů. Opakovaným spínáním velkých proudů vznikají v síti rušivá napětí v podobě periodicky se opakujících impulsů, které značně deformují průběh napájecího napětí a jejichž kmitočtové spektrum sahá do desítek *MHz* [31]. Pokud tyto usměrňovače, tyristorové měniče a polovodičové regulátory připojíme přímo k energetické napájecí síti bez filtrace, tak svými výstupními průběhy deformují průběhy síťového napětí. Při velkém počtu takto rušících zařízení (neodfiltrovaných) může docházet k plošným výpadkům ES. Na *obr. 7.2* jsou vidět deformace síťového napětí vlivem diodových usměrňovačů a tyristorových měničů.



Obr. 7.2 Deformace síťového napětí vlivem spínacích pochodů výkonových polovodičů [31]

Dnes jsou velice rozšířené zdroje poruch tzv. spínané síťové zdroje, u kterých se nn o frekvenci *50 Hz* mění na požadovanou (většinou nižší) stejnosměrnou hodnotu. Tyto zdroje dovolují v závislosti na spínací frekvenci (řádově stovek *kHz*) výrazně zmenšit rozměr použitého transformátoru a zvýšit svoji účinnost. Tato výhoda je však zaplácena výrazným vyzařováním širokého spektra rušivých kmitočtů, které se navíc mění se změnami odběru v důsledku regulace výstupního napětí pulzní šířkovou modulací. Síťové spínané zdroje se dnes využívají zejména pro napájení osobních počítačů, ale i mnoha dalších zařízení spotřební elektroniky [31].

Další rušivé účinky na straně nn mohou způsobit různé druhy elektrických výbojů, například u zářivek nebo osvětlovacích či jiných výbojek. Startéry těchto zářivek se přemostňují odrušovacími kondenzátory, které zkratují vysokofrekvenční složky vznikající při rozpojování startérového kontaktu. Rušivé účinky mají nejen startéry, ale i elektronické předřadníky kompaktních výbojek, především těch co nemají PFC obvod. Šíření do napájecí sítě pak omezuje tlumivka. Stále větší používání elektronických startérů nehomologovaných značek způsobuje při jejich velkém počtu v síti výrazné zarušení hladiny nn.

7.2 Harmonická analýza

Pomocí spektrální analýzy je možné popsat rozložení složek signálu ve frekvenční oblasti. Analyzovaný signál můžeme vyjádřit pomocí navzájem kolmých (ortogonálních) bázevých funkcí. Ve spektrální analýze pomocí Fourierovy transformace je bázevou funkcí komplexní exponenciála tvaru $e^{j2\pi ft}$.

Fourierova transformace spojitého signálu $x(t)$ je dána vztahem (7.1)

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt, \quad (7.1)$$

a zpětná Fourierova transformace je dána *vztahem* (7.2) [23].

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f) \cdot e^{j2\pi ft} df, \quad (7.2)$$

kde f je frekvence,
 j je imaginární jednotka,
 $x(t)$ je spojitý signál.

Fourierova transformace je vhodná pro analýzu neperiodických spojitých signálů. Poskytuje neperiodické spektrum $F(f)$, které je, jak je vidět ve *vztahu* (7.3), obecně komplexní.

$$F(f) = \text{Re}(f) + j\text{Im}(f) = |F(f)| \cdot e^{j\varphi(f)}, \quad (7.3)$$

kde $\varphi(f)$ je fázové spektrum,
 $|F(f)|$ je amplitudové spektrum.

Pro transformaci diskrétního signálu se nejčastěji používá diskrétní Fourierova transformace DFT, která poskytuje diskrétní spektrum. DFT pracuje s konečnými posloupnostmi v časové oblasti a převádí je do oblasti frekvenční (spektrum). DFT je definována *vztahem* (7.4)

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad (7.4)$$

kde $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

Pro zpětnou transformaci platí *vztah* (7.5) [23].

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad (7.5)$$

kde $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

Pro realizaci analyzátoru v koncovém digitálním přístroji je tedy transformace pomocí DFT nejvhodnější, protože pro diskretizovaný signál (vzorky signálu) poskytne diskrétně vyjádřený výsledek (vzorky spektra). Vzorky spektra můžeme dále zpracovávat. Diskrétní tvar vyjádření v jedné oblasti (diskrétní spektrum ve frekvenční oblasti) odpovídá periodickému vyjádření v oblasti druhé (časové). Transformací tedy nedojde ke ztrátě informace o signálu.

7.3 Měření na kogenerační jednotce

Na *obr. 7.3* je vidět jednoduchý formát získaných dat z kogenerační jednotky. První sloupec udává čas, kdy byla data jednotlivých řádků změřena. Druhý, čtvrtý a šestý sloupec udává okamžité změřené hodnoty napětí u_1 , u_2 , u_3 . Třetí, pátý a sedmý sloupec udává okamžité změřené hodnoty proudu i_1 , i_2 , i_3 . Tyto okamžité hodnoty můžeme zpracovat tak, jak bylo popsáno v *kapitole* (6.3) nebo můžeme přímo přistoupit k harmonické analýze, jak je popsáno výše v *kapitole* (7.2).

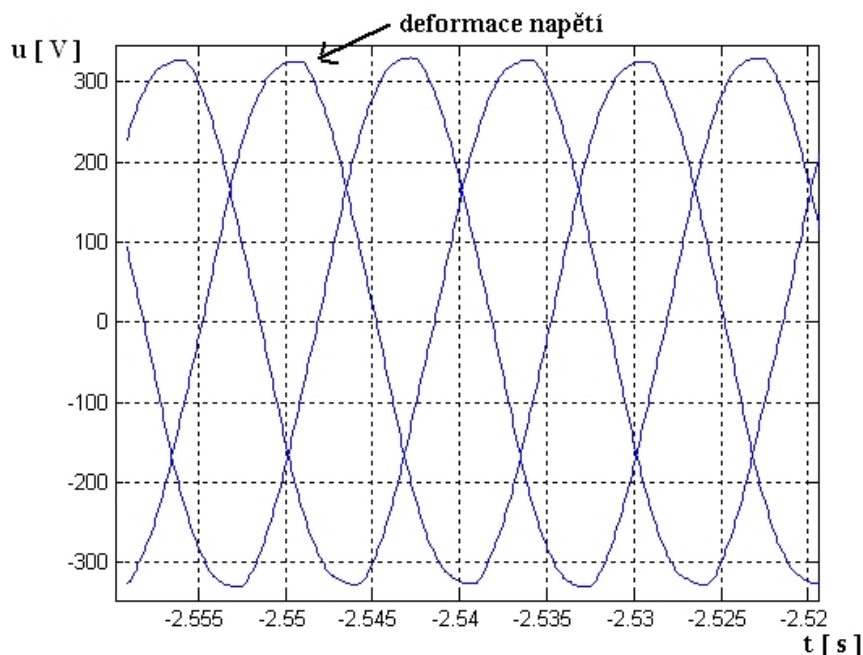
Trigger: Date: 12.04.2008, Time: 10:53:43.56, Condition: P, Phase: L1
 Start Time: 12.4.2008 10:53:42.92
 Trigger Time: 12.4.2008 10:53:43.56
 Stop Time: 12.4.2008 10:53:48.04

Time [sec]	U L1 [V]	I L1 [A]	U L2 [V]	I L2 [A]	U L3 [V]	I L3 [A]
-6,376657E-1	-2,133E+2	9,082E+0	3,219E+2	-3,862E+1	-1,154E+2	2,759E+1
-6,375876E-1	-2,191E+2	9,766E+0	3,217E+2	-3,857E+1	-1,084E+2	2,681E+1
-6,375095E-1	-2,244E+2	1,055E+1	3,213E+2	-3,853E+1	-1,004E+2	2,593E+1
-6,374313E-1	-2,297E+2	1,152E+1	3,207E+2	-3,853E+1	-9,258E+1	2,495E+1
-6,373531E-1	-2,352E+2	1,265E+1	3,199E+2	-3,872E+1	-8,437E+1	2,397E+1
-6,372750E-1	-2,408E+2	1,382E+1	3,186E+2	-3,892E+1	-7,656E+1	2,305E+1
-6,371968E-1	-2,465E+2	1,494E+1	3,172E+2	-3,911E+1	-6,875E+1	2,222E+1
-6,371187E-1	-2,518E+2	1,592E+1	3,146E+2	-3,926E+1	-6,152E+1	2,144E+1
-6,370406E-1	-2,570E+2	1,670E+1	3,115E+2	-3,921E+1	-5,469E+1	2,065E+1
-6,369624E-1	-2,617E+2	1,748E+1	3,084E+2	-3,911E+1	-4,766E+1	1,982E+1
-6,368842E-1	-2,658E+2	1,821E+1	3,045E+2	-3,892E+1	-4,023E+1	1,890E+1
-6,368061E-1	-2,699E+2	1,909E+1	3,004E+2	-3,877E+1	-3,262E+1	1,787E+1
-6,367279E-1	-2,744E+2	2,012E+1	2,957E+2	-3,872E+1	-2,500E+1	1,689E+1
-6,366498E-1	-2,791E+2	2,124E+1	2,916E+2	-3,887E+1	-1,719E+1	1,592E+1
-6,365716E-1	-2,832E+2	2,241E+1	2,873E+2	-3,906E+1	-9,570E+0	1,504E+1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Obr. 7.3 Ukázka změřených dat na kogenerační jednotce

Analyzovat budeme hodnoty napětí, protože vypovídají o zpětném ovlivňování ES. Při analýze proudu by byl analyzován (diagnostikován) spíše technický stav kogenerační jednotky. Okamžité změřené hodnoty napětí vyneseme do grafu, který je možno vidět na *obr. 7.4*. Na tomto obrázku jsou vidět nepatrné deformace napětí, způsobené různými rušivými vlivy, které jsou popsány v *kapitole (7.1)*.

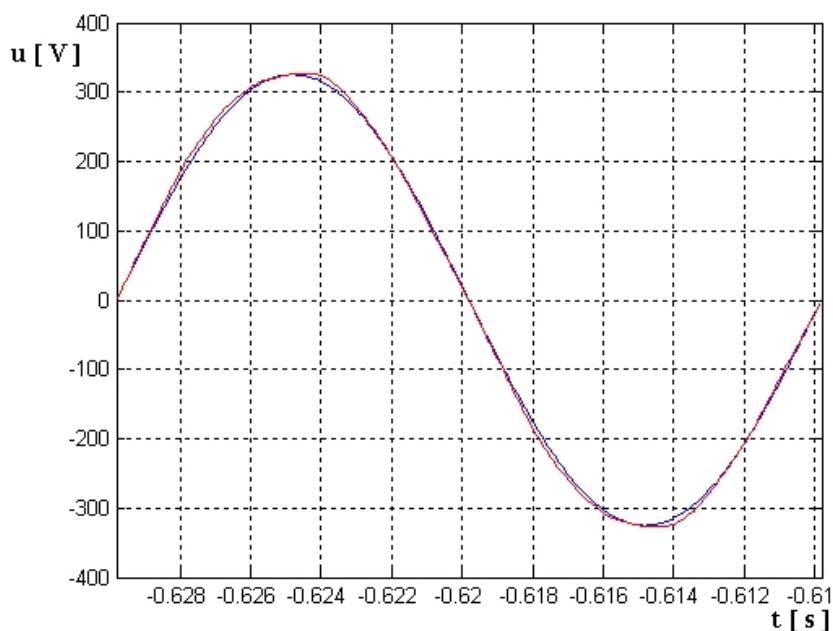
Harmonickou analýzu, kterou může přístroj provádět *on-line*, můžeme snadno simulovat *off-line* s využitím některého výpočetního prostředí, např. programu MATLAB, kde je možné za pomoci matematického aparátu uskutečnit složitější výpočty, jak bylo popsáno v *kapitole (7.2)*. Pro samotnou *on-line* analýzu přímo v měřicím přístroji je potřeba dostatečně dimenzovat výpočetní mikroprocesorovou jednotku.



Obr. 7.4 Deformované třífázové průběhy z kogenerační jednotky

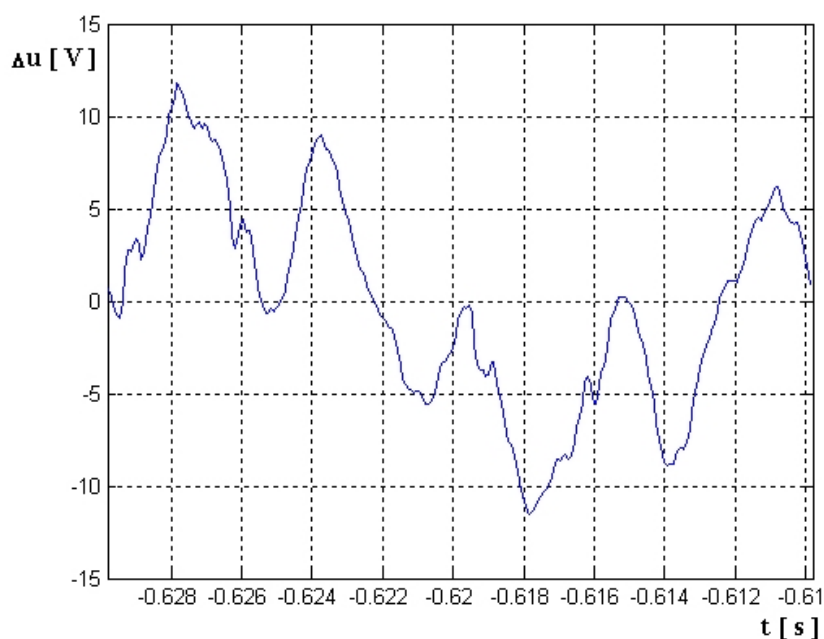
Analýza signálu v časové oblasti

Pro názornou ukázkou vyhodnocení kogenerační jednotky budou data z jedné fáze stačit. Při vynesení do grafu získáme periodický signál o určité velikosti amplitudy. Tento okamžitý signál by měl být čistě harmonický, ale je mírně deformovaný. Je tedy možné ho srovnat s funkcí cosinus respektive sinus. Proložení našeho harmonického signálu (jedné periody) je vidět na *obr. 7.5*. Harmonický signál je v tomto obrázku znázorněn pomocí červené barvy a je proložen modře ideálním (teoretickým) průběhem funkce sinus. Nepatrný odklon od této funkce je právě zmíněná deformace napětí.



Obr. 7.5 Proložení harmonického signálu funkcí sinus

Jelikož je *obr. 7.5* nevypovídající, tak vyneseme do *obr. 7.6* absolutní odchylku Δu získanou z časového rozdílu naměřené a teoretické hodnoty napětíového signálu.



Obr. 7.6 Časový průběh rozdílu naměřeného a teoretického napětíového signálu

V časové oblasti můžeme ze signálu získat informace o odchylce Δu , frekvenci signálu a o jeho efektivní hodnotě.

Výpočet frekvence signálu v časové oblasti lze provést takto: Náš změřený signál byl navzorkován s frekvencí $f_s = 1,2804 \cdot 10^4 \text{ Hz}$, kdy bylo získáno 256 vzorků za periodu. Pokud chceme získat frekvenci měřeného signálu, pak musíme vydělit vzorkovací frekvenci počtem vzorků:

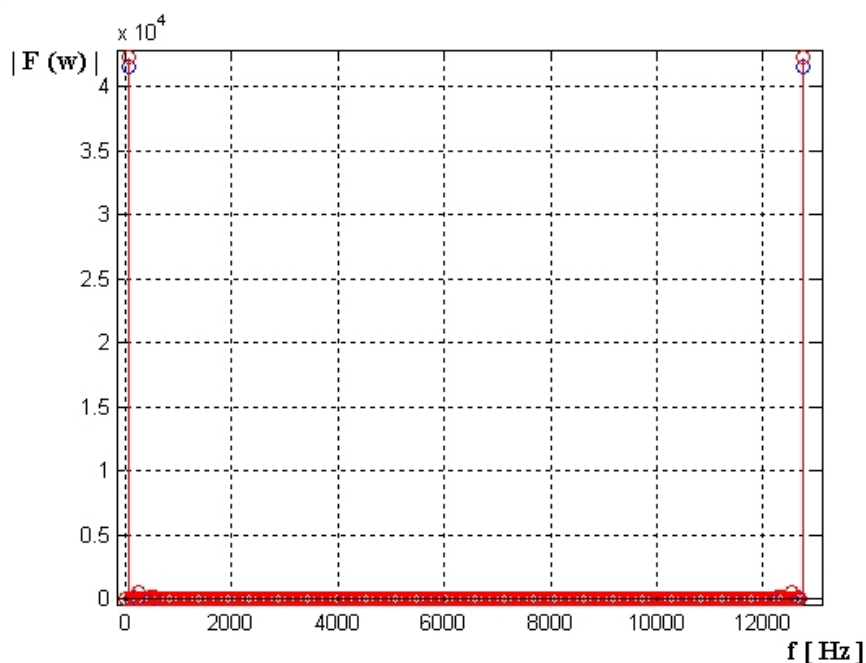
$$f = \frac{f_s}{256} = \frac{1,2804 \cdot 10^4}{256} = 50,01563 \text{ Hz}$$

Frekvence analyzovaného signálu byla vypočítána jako 50,01563 Hz, což odpovídá podle normy [8] toleranci síťového kmitočtu $\pm 0,1\%$.

Analýza signálu ve frekvenční oblasti

Při navzorkování spojitého signálu jsme získali diskrétní signál. Na tento diskretizovaný signál použijeme FFT respektive DFT analýzu podle vztahu (7.4) a získáme spektrum ve frekvenční oblasti. Spektrum ve frekvenční oblasti je znázorněno červenou barvou v *obr. 7.7*. V tomto obrázku je modře zobrazeno spektrum čistého sinusového signálu, který je také vzorkován stejnou frekvencí $f_s = 1,2804 \cdot 10^4 \text{ Hz}$ a se stejným ziskem 256 vzorků za periodu.

Při analýze čistého sinusového signálu jsou ve frekvenční závislosti vidět absolutní hodnoty spektra (v *obr. 7.7*) dvě špičky, protože se spektrum opakuje. Jelikož bereme absolutní hodnotu $|F(\omega)|$, můžeme říci, že funkce je symetrická v bodě π a v bodě $2\pi = 0$, (frekvence složek spektra má k vzorkovací frekvenci vztah popsany rovnicí: $\pi = f_s / 2$). Nyní můžeme přistoupit ve stejném obrázku k hodnocení našeho změřeného signálu, ze kterého plyne, že deformace byla způsobena přítomností vyšších harmonických.

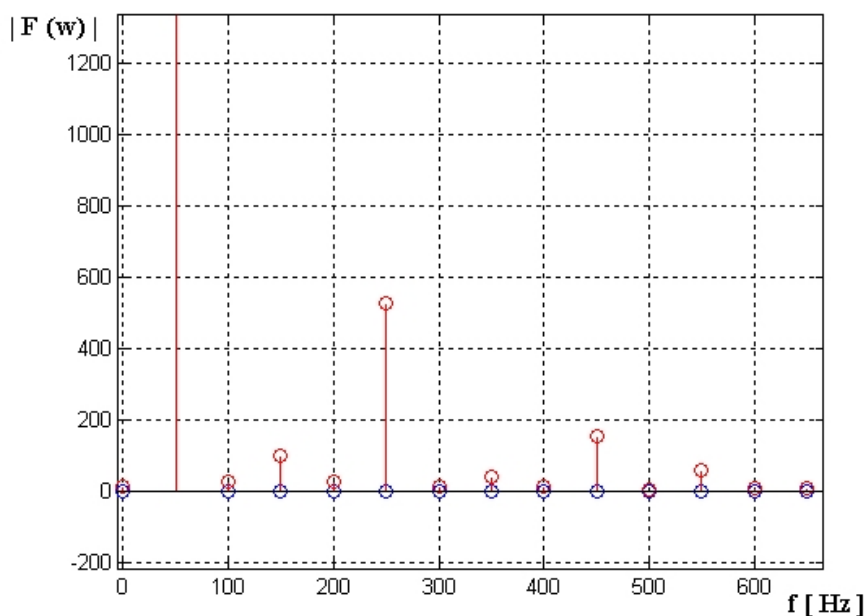


Obr. 7.7 Spektrum měřeného signálu a funkce sinus ve frekvenční oblasti

Pro lepší detail byl pořízen *obr. 7.8*, kde je názorněji vidět, které harmonické ho vlastně ovlivňují. Nejvýraznější jsou liché harmonické $3h$, $5h$, $7h$, $9h$, $11h$. Velikost špiček a velký počet harmonických nejvíce ovlivní vlastní základní signál. Signál byl nejvíce ovlivněn pátou harmonickou, protože její hodnota byla největší. Sudé harmonické jsou tak malé, že je můžeme zanedbat.

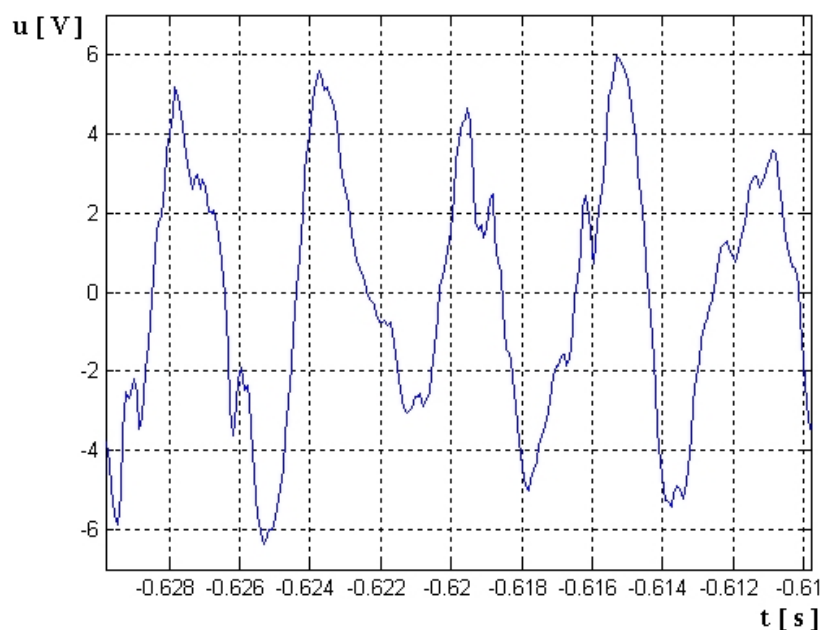
Jedním z významů harmonické analýzy je snadné stanovení celkového harmonického zkreslení signálu. Pomocí získaných harmonických složek DFT analýzou a *vztahu (6.15)* je možné spočítat THD_U (celkové harmonické zkreslení napětí). Harmonické zkreslení je počítáno z poměru vyšších harmonických ku základní harmonické. Velikost zkreslení na zkoumané periodě signálu získaná výpočtem z MATLABU dosáhla hodnoty $1,36\%$.

Kdybychom na *obr. 7.7* v MATLABU zobrazili ještě větší detail dvou sousedních spektrálních čar, můžeme také s velkou přesností zjistit, že základní harmonická opravdu není přesně 50 Hz , ale již řečených $50,01563\text{ Hz}$. Také bychom zjistili, že vyšší harmonické nebudou rovny násobkům průmyslového kmitočtu 50 Hz , ale budou vždy od těchto násobků mírně rozdílné. Vždy však odpovídají přesným násobkům zjištěné základní harmonické.



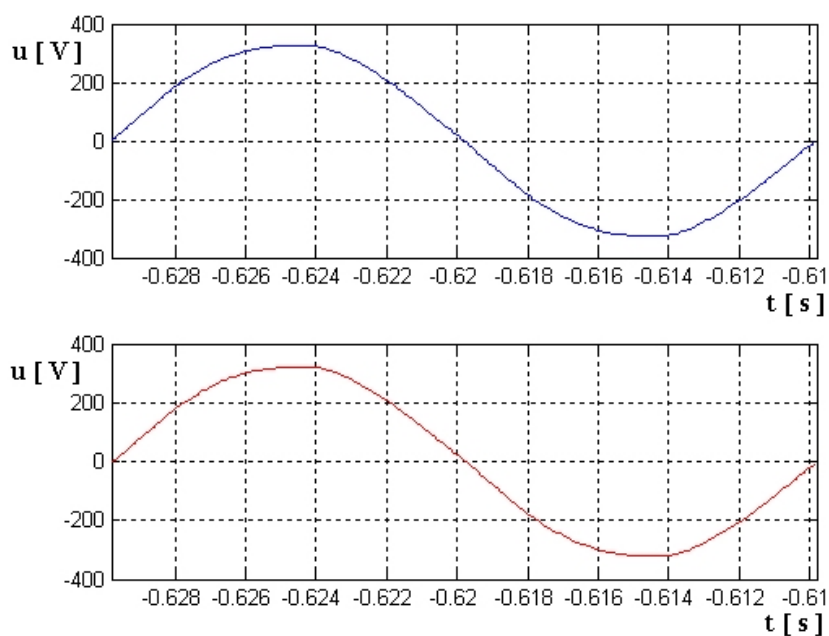
Obr. 7.8 Detail spektra měřeného signálu a funkce sinus ve frekvenční oblasti

Z *obr. 7.8* můžeme vypočítat zkreslující signál, který způsobuje deformaci. Zkreslující signál získáme při odfiltrování základní harmonické, která ve frekvenční oblasti pro jednu periodu představuje dvě největší červené špičky ve frekvenční oblasti. Tyto dvě největší špičky položíme rovny nule. Při následné rekonstrukci zkreslujícího signálu můžeme podle *vztahu (7.5)* pomocí inverzní Fourierovy transformace (iDFT) takto upravený signál snadno zrekonstruovat. Rekonstruovaný signál z analyzované periody je zobrazen na *obr. 7.9*.



Obr. 7.9 Rekonstruovaný rušivý průběh signálu

Na *obr. 7.10* je nahoře v grafu modrou barvou zobrazena funkce sinus a ve spodním grafu červeně k ní přičten zkreslující signál. *Obr. 7.10* byl zobrazen jen pro porovnání. Z uvedených průběhů vyplývá, že uvažované závěry analýzy jsou správné.



Obr. 7.10 Průběh funkce sinus a přičtení zkreslujícího signálu

8 ZÁVĚR

Pokud chceme dosáhnout autonomního měřicího systému, musíme podle *kapitoly (2)* splnit obecné požadavky nebo se jim co nejvíce přiblížit. Předpoklad autonomie systému je, že systém bude tvořen konečným počtem měřících přístrojů, z nichž každý je v síti jednoznačně umístěn na měřeném místě a určen na měření konkrétních veličin. Vazby mezi přístroji jsou pak dány možnostmi měřeného místa a celé měřicí infrastruktury.

Z *kapitoly (2.1)* plyne, že autonomní systém vede k propojování na sobě dosud nezávislých zařízení a tvorbu inteligentních celků, které by hýbaly současným světem informačních technologií. Stará konvenční měřidla nejsou schopna tuto skutečnost naplnit, a proto do měřených míst musíme zavádět nové digitální technologie, které jsou schopny podávat informaci do datového centra jako například „smart metry“.

„Smart metering“ pro obousměrnou komunikaci dodavatele elektrické energie se zákazníkem a naopak je ale současně v ČR ve stádiu testování. Výsledky testování jsou zatím nepřístupné odborné veřejnosti. Musíme se spokojit s parametry uváděnými výrobcí, kteří nabízejí podobná zařízení pro automatizovaný sběr dat.

Automatizovaný datový sbírkový proces nezávisí na klientech doma, ale na spolehlivosti automatizovaného procesu, který by měl zjednodušit denní operaci měřicí společnosti. Mluvíme tedy o jednosměrné *on-line* komunikaci, do které odběratel elektrické energie může sice zasáhnout, ale je limitován časem, ve kterém je s těmito daty obeznámen. Obousměrná komunikace by tedy umožnila mnohonásobně rychlejší reakci na změnu trhu a tedy na zvýšení či snížení odběru podle aktuální ceny elektrické energie. Někteří výrobci si začínají tuto skutečnost uvědomovat a jejich výrobky jsou dopředu vybaveny funkcemi a výstupy, které se dají pro rychlejší komunikace využít.

Sledování spotřeby energie je první krok k celkovým úsporám energie. Po nainstalování chytrých měřících přístrojů do energetické sítě můžeme nejen odečítat údaje o spotřebě na dálku, ale dát možnost koncovým odběratelům podrobněji zkoumat jejich vlastní spotřebu.

Archivace dat je důležitá pokud chceme provést srovnání dvou měření v rozdílném čase. Při archivaci získáváme data z jednotlivých měřených míst na datový server. Na tomto datovém serveru jsou data ukládána do SQL databáze, která nám umožňuje data zpracovat a zobrazovat v internetové síti. Pro odběratele se pak nabízí z libovolného počítače v internetové síti prohlížení *www* stránek s naměřenými daty. Datový server umožňuje dynamické generování *www* stránek s požadovanou formou protokolu. Výhodou tohoto systému je, že odběratel nemusí mít v místě, kde si data zobrazuje, žádný dodatečný *SW*. Stačí mu pouze standardní prohlížeč *www* stránek.

Firma BK ELCOM vyrábí velice zajímavé analyzátory, ale pro komerční využití jsou zbytečně výkonné, což se projeví na jejich ceně.

Přistupuji k návrhu vlastního koncového měřicího přístroje, kdy beru v úvahu hromadné zavádění do rozptýlené výroby. Prototyp tohoto přístroje by byl sice drahý, ale sériovou výrobou by se cena snížila a stabilizovala. Cena a přitom dostatečná přesnost je klíčem pro využití nejen ve velkých průmyslových závodech na výrobních linkách, ale i jako chytrý digitální elektroměr pro běžné domácnosti. Koncový přístroj tedy nebude špičkovým zařízením, ale musí splnit naše požadavky pro kvalitní měření v určité požadované přesnosti.

Navržený koncový měřicí přístroj v *kapitole (6)* je založen na vzorkování a A/D převodu vstupního napětí a proudu. Po A/D převodu napětí a proudu můžeme odebrané vzorky dále zpracovávat jak je uvedeno v *kapitolách (6.3) a (7.3)*. Vstupní proudy jsou snímány obvody s Rogovského cívkami nebo Hallovými sondami a vstupní napětí odporovými děliči. Vybrané hodnoty jsou ukládány do paměti přístroje a na vyžádání odesílány do datového centra.

Možnost *on-line* monitorování kvality elektrické energie je novinkou na trhu. Z hlediska vývoje nových zařízení se spínanými zdroji, či jiných zařízení se zpětnými vlivy na ES, jsou dálková měření velice potřebná. Do budoucna takové zařízení bude v sítích samozřejmostí. Při zavádění analyzátorů jsme schopni zjistit nesymetrické odběry v síti a sledovat velikosti příspěvků do sousledných, zpětných a nulových složek. Když se nebudeme zabývat vyššími harmonickými, třeba v kabelové síti, dojde k přetížení a zničení sítě.

V kapitole (7.3) je ukázka využití měřicího systému na kogenerační jednotce. Měření je provedeno ve všech třech fázích, ale pro názornou ukázkou nám stačí analýza pouze jedné fáze. Při analýze v časové oblasti je možné vidět deformace napětí. Pokud provedeme analýzu ve frekvenční oblasti, můžeme vidět spektrum měřeného signálu, ze kterého podrobně zjistíme, které harmonické způsobují vlastní deformaci napětí. Na obr. 7.9 je zrekonstruovaný rušivý signál, který při injektování do sítě způsobí příslušnou deformaci.

Jelikož jsme dodavatelé elektrické energie, tak je na nás kladen zvýšený požadavek na kvalitu dodávky. Kvalitu dodávky je možno sledovat pomocí modulů analyzátorů, například jako od firmy BK ELCOM. Informace o stavu kvality elektrické energie potřebujeme v co nejkratším čase, a proto zavádíme v energetice možnosti dálkového měření. Měření je prováděno pomocí dálkové správy přístroje i ze vzdálených míst. Popisované analyzátory jsou tedy schopny dálkově aktuálně měřit, ale i postprocesingově vyhodnotit a podat pomocí WEB serveru ucelenou informaci o stavu za určitý časový úsek. Jsou tedy velice vhodné pro distribuované systémy monitoringu v energetice.

Intelligentní měřicí přístroje mohou rychleji a podrobněji informovat zákazníky o spotřebě sledovaného média a nákladech s ním spojených. Mohou přinášet hlavně informaci o tom, jaká MM se na spotřebě nejvíce podílejí.

K zavádění nového systému nás nutí požadavek na uvolnění trhu a velký nárůst spotřeby kvalitní elektrické energie v posledních letech. Od nového systému očekáváme rychlejší a preciznější získání potřebné informace, která je obsažena ve standardizovaném datovém telegramu nebo ve výstupním protokolu.

Systém musí aktuálně načíst a zobrazit údaje, které slouží ke zlepšení souhrnných operací, a následně vyúčtovat pohyb energií. Toto řešení vzdálených měření a odpočtů disponuje funkcemi, které mohou být v mnoha zemích brzy požadovány ze zákona. Cílem zavádění je připravit energetiku na liberalizovaný trh, kde můžeme obchodovat s energiemi na vyšší úrovni. Při využívání tohoto nového způsobu můžeme předpovídat vývoj spotřeby a optimalizovat výrobu respektive nákup.

Jednotlivé země používají rozdílné komunikační technologie podle možností nainstalovaných stávajících energetických a počítačových sítí. Každý stát přistupuje ke komunikaci individuálně a žádný doposud nenalezl optimální řešení pro splnění požadavků všech stran. Proto se na trhu objevuje velké množství výrobců a výrobků.

U nás je situace zavádění této nové technologie ovlivněna cenou jednoho MM. Z tohoto důvodu jsme nezačali budovat systém na bázi drahých „smart metrů“, ale zatím setrváváme na starých elektroměrech.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Sitronicsts, *elektronika*. Dostupné z: <http://www.sitronicsts.cz/cz/produkty_a_reseni/utilities/index.html>
- [2] Leonardo ENERGY, *stránky o zavádění novinek do energetiky*. Dostupné z: <http://www.leonardo-energy.org/drupal/files/2006/20061204-SmartMetering.pdfdownloadINFOVERANSTALTUNG/20060404/20060404_koenis.pdf>
- [3] EGU Brno, a. s., *je vědeckovýzkumná, inženýrská, konzultační a realizační společnost působící v oblasti výroby, dopravy a akumulace elektrické energie a tepla, zvyšování spolehlivosti a kvality jejich dodávek a racionalizace jejich užití*. Dostupné z: <http://www.egu.cz/Egu_cb/pdf/Eautometer_cz.pdf>
- [4] Technika, *Odborný časopis se zaměřením na elektrotechniku*. Dostupné z: http://www.techpark.sk/archiv/2005/odb_03.pdf Duben 2005,
- [5] Sitronicsts, *elektronika*. Dostupné z: <<http://www.sitronicscentrum.cz/cz/index.php?m=6&clanek=070306>>
- [6] Norma ČSN EN 61000-4-7, *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-7: Zkušební a měřicí technika - Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezipharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich*
- [7] Norma ČSN EN 61000-4-15, *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4: Zkušební a měřicí technika - Oddíl 15: Měřič blikání - Specifikace funkce a dimenzování*
- [8] Norma ČSN EN 50160, *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*.
- [9] KUBÍN, M. : *Přenosy elektrické energie ČR*, Vydal ČEPS, a.s. Praha 2004
- [10] ModemTec, s.r.o., *Vývoj a výroba zařízení pro komunikaci po stávajících nízkonapěťových energetických rozvodech*. Dostupné z: <<http://www.modemtec.cz/detail-novinky.php?id=10>>
- [11] Zákony č.22/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 *o technických požadavcích na výrobky*.
- [12] Sitronicsts, *elektronika*. Dostupné z: <http://www.sitronicsts.com/cz/produkty_a_reseni/utilities/index.html>
- [13] ARC Innovations, *inovace do energetiky*. Dostupné z: <<http://www.arcinnovations.co.nz/resources/pdf/chch-rf-rollout-brochure.pdf>>
- [14] CODEA, spol. s.r.o., *Měřicí technika s možností komunikace*. Dostupné z: <<http://www.codea.cz/DKJGSM MB.pdf>>
- [15] ELCOM, a.s., *Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika se zaměřením na virtuální instrumentaci*. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/files.php?id=/4/download/bk-elcom/monitoring_a_analyza_kvality_elektriny.pdf>
- [16] ELCOM, a.s., *Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika se zaměřením na virtuální instrumentaci*. Dostupné z: <<http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom/clanek/63-bk-measure-monitor-kvalitativnich-parametru-elektriny.html>>
- [17] FieldBus, *sítě a rozhraní*. Dostupné z: <<http://fieldbus.feld.cvut.cz/mbus/mbus.html>>
- [18] ELCOM, a.s., *Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika se zaměřením na virtuální instrumentaci*. Dostupné z: <<http://www.elcom.cz/files.php?id=/4/download/bk-elcom/BK-MEASURE.pdf>>
- [19] AIS, spol. s.r.o., *Měřicí a informační technologie pro energetiku*. Dostupné z: <<http://www.ais-brno.cz/clanky/egu2006.pdf?lang=cz>>
- [20] Automatizace, *Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku*. Dostupné z: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1503>>

- [21] Norma ČSN EN 50065-2-1, *Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 kHz až 148,5 kHz - Část 2-1: Požadavky na odolnost síťových komunikačních zařízení a systémů pracujících v rozsahu kmitočtů 95 kHz až 148,5 kHz a určených pro používání v prostorech obytných, obchodních a lehkého průmyslu.*
- [22] Automatizace, *Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku.* Dostupné z <<http://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>>
- [23] Kreidl, M., Šmíd, R. *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA*, 1. vydání, nakladatelství BEN – technická literatura, Praha 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [24] KMB systems, *Měřicí, registrační a regulační přístroje pro energetiku*, Dostupné z: <<http://www.kmb.cz/07/doc/SMY-Manual-v8-cze.pdf>>
- [25] ICT in Energy and Utilities, *Informační a komunikační technologie zaměřené na energetiku*, Dostupné z: <http://idg.bg/events/2006/0710112428-09.50-10.20_Slovomir20Cklimovich_HP.ppt>
- [26] Modemtec, s.r.o., *Vývoj a výroba zařízení pro komunikaci po stávajících nízkonapětových energetických rozvodech.* Dostupné z: <<http://www.modemtec.cz/detail-novinky.php?id=6>>
- [27] HW, *Odborný technický internetový časopis*, Dostupné z: <<http://hw.cz/novinky/freescale/art1997-bezdratova-komunikace-zigbee-obvody-freescale.html>>
- [28] Norma IEEE 802.15.4, *Definuje několik základních rádiových pásem, aby mohla být využita v různých zemích, kde jsou rozdílné národní předpisy a normy.*
- [29] Teridian, Power Metering, Measurement & Control, Dostupné z: <http://www.teridian.com/products/power_metering.cfm>
- [30] Automatizace, *Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku.* Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/integrované-obvody-teridian-pro-měření-spotřeby-el-energie>>
- [31] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility, Dostupné z: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php?soubor=2.1.htm>>
- [32] Norma IEEE 802.11, (ISO/IEC 8802-11) - 1999, *IEEE Standard for Information Technology - LAN/MAN - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*